



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΟ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
& ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
Αριθμ. Πρωτοκ. 358
Ημερομηνία 1-7-2011

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΓΙΩΤΑ ΧΡΥΣΑ

**<<Συντελεστές κατανομής ηλιακής ακτινοβολίας στις ενεργειακές
καλλιέργειες ηλίανθου, κενάφ και αγριαγκινάρας >>**



ΒΟΛΟΣ 2011



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.:	9780/1
Ημερ. <input type="checkbox"/> Εισ.:	01-07-2011
Δωρεά:	Συγγραφέας
Ταξιθετικός Κωδικός:	ΠΤ – ΦΠΑΠ
	2011
	ΓΙΩ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω ευχαριστίες πρωτίστως στον Καθηγητή κ. Νικόλαο Δαναλάτο για την πολύτιμη βοήθειά του ώστε να έρθει εις πέρας το πείραμα αυτό.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτρια κα. Μαρία Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη και τον κ. Δημήτριο Μπαρτζιάλη μέλος Π.Δ. 407/80 για τον χρόνο που διέθεσαν για να διορθώσουν την πτυχιακή μου διατριβή.

Ιδιαιτέρως ευχαριστώ τον, υποψήφιο Διδάκτορα Αρχοντούλη Σωτήρη (Wageningen University) για την πολύτιμη βοήθειά του και τις χρήσιμες υποδείξεις που μου προσέφερε τόσο κατά την εκτέλεση των πειραμάτων όσο και κατά τη συγγραφή του κειμένου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για τη διαρκή στήριξη κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
1. Εισαγωγή.....	4
1.1 Δείκτης διάχυσης ηλιακού φωτός, K_L	6
1.2 Ηλίανθος	7
1.3 Κενάφ	8
1.4 Αγριαγκινάρα	10
1.5 Σκοπός της μελέτης.....	11
2. Υλικά και Μέθοδοι	12
2.1 Γενική περιγραφή.....	12
2.2 Συνθήκες ανάπτυξης ,είδη, διαχείριση και κλίμα	13
2.3 Πρωτόκολλο εργασίας	14
2.4 Μετρήσεις	15
2.5 Υπολογισμοί των μορφολογικών και φαινολογικών δεικτών	16
2.6 Υπολογισμός του συντελεστή διάχυσης φωτός εντός της φυλλοστοιβάδος	17
2.7 Στατιστική ανάλυση.....	17
3. Αποτελέσματα.....	18
3.1 Καιρικές συνθήκες.....	18
3.2 Ηλίανθος	19
3.3 Κενάφ	21
3.4 Αγριαγκινάρα	23
3.5 Κατανομή φύλλων κατά τη χρονική περίοδο της ανθοφορίας	25
3.6 Κατανομή φωτός.....	27
3.6.1 Ηλίανθος	27
3.6.2 Κενάφ.....	28
3.6.3 Αγριαγκινάρα	30
4. Συμπεράσματα	32
5. Βιβλιογραφία.....	33
6. Παράρτημα.....	38

1. Εισαγωγή

Μετά τη μεγάλη ενεργειακή κρίση του 1973 έγιναν μεγάλες προσπάθειες διεθνώς για τη μείωση της χρήσης των ορυκτών καυσίμων και τη διερεύνηση λύσεων για την κάλυψη των συνεχώς αυξανόμενων ενεργειακών αναγκών από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ασφαλείς και συμβατές με το περιβάλλον. Την τελευταία δεκαπενταετία, το θέμα αυτό έλαβε ιδιαίτερα μεγάλες διαστάσεις λόγω των αποθαρρυντικών προβλέψεων σχετικά με την επάρκεια των ορυκτών ενεργειακών αποθεμάτων αφενός, και αφετέρου λόγω των σοβαρών οικολογικών επιπτώσεων της χρήσης ορυκτών πρώτων υλών (φαινόμενο θερμοκηπίου, όξινη βροχή). Στις συνόδους του Ρίο Ντι Τζανέιρο και του Κιότο, η διεθνής κοινότητα ανέλαβε δεσμεύσεις για την αποφυγή της οικολογικής αυτής καταστροφής και της εξάρτησης από τα ορυκτά καύσιμα και για τη χρησιμοποίηση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας φιλικών προς το περιβάλλον. Το δυναμικό παραγωγής ενέργειας από τα φυτά παγκοσμίως ανέρχεται στα 200-400 EJ/yr (Jurginger *et al.*, 2006).

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ορίζονται οι ενεργειακές πηγές που υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και θεωρητικά είναι ανεξάντλητες, όπως η ηλιακή ενέργεια (ενεργητικά και παθητικά ηλιακά συστήματα, φωτοβολταϊκά), η αιολική ενέργεια, η γεωθερμία, η υδραυλική ενέργεια και η βιομάζα. Η βιομάζα (~70% ανανεώσιμων πηγών ενέργειας) και η υδροηλεκτρική ενέργεια αποτελούν τις βασικότερες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας διεθνώς αλλά και στον ανεπτυγμένο κόσμο.

Η βιομάζα μπορεί να ληφθεί είτε από υπολείμματα και υποπροϊόντα φυτικών και ζωικών οργανισμών, είτε από ενεργειακές καλλιέργειες που εγκαθίστανται για τον σκοπό αυτό. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα TERES II, προβλέπεται για το 2020 να εξασφαλίζεται ενέργεια 228 ΜΤΠΠ από ανανεώσιμες πηγές από την οποία το 31,1% θα προέρχεται από ενεργειακή γεωργία, το 24,5% από βιομάζα απορριμμάτων και το 15,2% από γεωργικά και δασικά υπολείμματα (Σούτερ, 1998). Στις χώρες της Ε.Ε. τα γεωργικά διατροφικά πλεονάσματα και τα δημιουργούμενα εξ αυτών οικονομικά προβλήματα οδηγούν αναπόφευκτα στη μείωση της γεωργικής γης και παραγωγής. Υπολογίζεται ότι 140.000.000 στρ. γεωργικής γης πρέπει να αποδοθούν στις ενεργειακές καλλιέργειες προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα των επιδοτήσεων γεωργικών πλεονασμάτων και χωματερών με

ταυτόχρονη αύξηση των ευρωπαϊκών ενεργειακών πόρων. Η καλλιέργεια αυτών των εκτάσεων θα αποτελέσει τη συνεισφορά των ενεργειακών καλλιεργειών (20,3%) στη βιομάζα, η οποία θα εξασφαλίσει το 73% του στόχου που πρέπει να επιτευχθεί μέχρι το 2010 και ο οποίος υπαγορεύει το 12% της παραγόμενης ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, σύμφωνα με το “Green Paper” της Ευρωπαϊκής Ένωσης (AEBIOM). Στην Ελλάδα 10.000.000 στρ. καλλιεργήσιμης γης έχουν ήδη ή προβλέπεται να περιθωριοποιηθούν και να εγκαταλειφθούν. Εάν η έκταση αυτή αποδοθεί στην ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών, η καθαρή ωφέλεια σε ενέργεια υπολογίζεται σε 5-6 ΜΤΠΠ, δηλαδή 50-60% της ετήσιας κατανάλωσης πετρελαίου.

Σύμφωνα με το παραπάνω πλαίσιο το Εργαστήριο Γεωργίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας την τελευταία δεκαετία έχει πραγματοποιήσει έρευνα σε σχέση με τις αποδόσεις των ενεργειακών φυτών (π.χ. ηλιάνθο, κενάφ, αγριαγκινάρα, κ.α.). Ορισμένες από τις μελέτες ήταν, το δυναμικό αύξησης και παραγωγικότητα βιομάζας του κενάφ κάτω από συνθήκες που επικρατούσαν στην κεντρική Ελλάδα καθώς επίσης και η επιρροή της ποικιλίας ο χρόνος σποράς και η πυκνότητα φυτών και τα επίπεδα άρδευσης (Danalatos and Archontoulis, 2004; Danalatos et al, 2008). Επιπλέον μελετήθηκε το δυναμικό αύξησης και η παραγωγικότητα τριών υβριδίων ηλιάνθου σε έδαφος με υψηλό υδροφόρο ορίζοντα στην κεντρική Ελλάδα (Danalatos et al. 2004, 2005), συστήματα καλλιέργειας ηλιάνθου ως μονοκαλλιέργεια ή καλλιέργεια μετά από σιτάρι (Giannoulis et al., 2009). Τέλος εκπονήθηκε έρευνα για την καλλιέργεια της αγριαγκινάρας, όπου και μελετήθηκε η παραγωγικότητα της βιομάζας υπό διαφορετικά επίπεδα άρδευσης-λίπανσης (Danalatos et al, 2007), σύγκριση της καλλιέργειας με παραδοσιακές καλλιέργειες (Danalatos, 2008), η φωτοσύνθεση και η αναπνοή (Archontoulis et al, 2008) και ο προσδιορισμός παραγωγής του σπόρου και της φαινολογίας της αγριαγκινάρας καθώς και ο δείκτης συγκομιδής αυτής.(Archontoulis et al, 2010^α, 2010^β).

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ερμηνεύσει την παραγωγή βιομάζας είναι ο δείκτης διάχυσης φωτός εντός της φυλλοστοιβάδος (light extinction coefficient).

1.1 Δείκτης διάχυσης ηλιακού φωτός, K_L

Τα μοντέλα προσομοίωσης καλλιέργειας χρησιμοποιούνται ευρέως για την πρόβλεψη παραγωγικότητας. Ο δείκτης διάχυσης ηλιακού φωτός εντός της φυλλοστοιβαδας (K_L) είναι μια απαραίτητη παράμετρος που πρέπει να ενσωματωθεί στα μοντέλα προκειμένου το μοντέλο να υπολογίσει την ολική δέσμευση φωτός και κατ'επέκταση φωτοσύνθεση (van ittersum et al., 2003). Από τη δεκαετία του 60' πολλά τέτοια μοντέλα έχουν αναπτυχθεί. Η φωτοσυνθετικώς ενεργή ακτινοβολία δεσμεύεται από το φύλλωμα και τα άλλα πράσινα μέρη των φυτών και χρησιμοποιείται για να αφομοιώσει CO_2 . Για να υπολογίσουν το ποσοστό δεσμευόμενης ακτινοβολίας τα μοντέλα προσομοίωσης συνήθως χρησιμοποιούν την εξίσωση Beer-Lambert όπως προτάθηκε από τους Monsi και Saeki :

$$I_{int} = I_m (1 - e^{-K_L \cdot LAI})$$

όπου I_{int} είναι το ποσοστό ακτινοβολίας που δεσμεύτηκε από τη φυλλοστοιβάδα της καλλιέργειας, I_m το μέγιστο κλάσμα της δεσμευόμενης ακτινοβολίας και LAI ο δείκτης της φυλλικής επιφάνειας που ορίζεται σε m^2 φυλλικής επιφάνειας ανά m^2 εδαφικής επιφάνειας. Η τιμή του συντελεστή K_L εξαρτάται μεταξύ άλλων από το είδος της καλλιέργειας και την κλίση των φύλλων. Συνήθως στα μοντέλα η τιμή του συντελεστή K_L θεωρείται ότι είναι σταθερή. Ωστόσο, έχει αποδειχθεί ότι για πολλά είδη φυτών ότι παράγοντες όπως η διάταξη των φυτών στο χώρο, η πυκνότητα του πληθυσμού των φυτών και η ώρα της ημέρας επηρεάζουν την τιμή του K_L .

Ο συντελεστής K_L υπολογίστηκε 0,65 για το καλαμπόκι (Allen et al., 1965; Sivakumar and Virmani, 1984; Varlet-Grancher et al., 1989). Οι αναφερθείσες τιμές του K_L προέκυψαν τις περισσότερες φορές από πλήρως αναπτυγμένες φυλλοστοιβάδες (Allen et al., 1965; Sivakumar and Virmani, 1984). Αρκετές μελέτες έχουν παρουσιάσει δεδομένα που προέκυψαν κατά τη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης (Williams et al., 1965; Gallo and Daughtry, 1986). Οι Flenet et al. (1996) εκτίμησαν τη σταθερά K_L σε 3 στάδια ανάπτυξης και κατέληξαν ότι το K_L αλλάζει με την ώρα της ημέρας. Οι ίδιοι μελετητές δεν εντόπισαν επίδραση της φαινολογίας στο συντελεστή K_L . Ωστόσο είναι γνωστό ότι όσο μια καλλιέργεια καλαμποκιού αναπτύσσεται η κλίση των φύλλων αλλάζει και γίνεται πιο ευθεία στα κατώτερα φύλλα και πιο κεκλιμένη στα ανώτερα leaves (Whigham, 1971). Επιπρόσθετα, οι

Pepper et al. (1977) έδειξαν ότι καλλιέργειες με πιο κεκλιμένα φύλλα είχαν τιμή συντελεστή ΚΛ 0,59 όταν η φυλλοστοιβάδα ήταν πλήρως ανεπτυγμένη σε αντίθεση με καλλιέργειες με πιο οριζόντια φύλλα που είχαν τιμή 0,72. Παρόλα αυτά η επίδραση της φαινολογίας στο συντελεστή ΚΛ χρήζει περαιτέρω μελέτης.

1.2 Ηλίανθος

Ο Ηλίανθος είναι ένα φυτό που ανήκει στην οικογένεια *Asteraceae*, του γένους *Helianthus* και του είδους *annuus*. Αποτελεί ετήσια εαρινή καλλιέργεια και ανήκει στην κατηγορία των C₃ φυτών. Ο βιολογικός κύκλος του φυτού είναι περίπου 3,5 μήνες (αναλόγως πάντοτε του υβριδίου). Τα επιμέρους στάδια ανάπτυξης του ηλίανθου έχουν προσδιοριστεί σύμφωνα με το διεθνές σύστημα BBCH (Lancashire *et al.*, 1991). Τα φύλλα του ηλίανθου είναι καρδιόσχημα, ωοειδή, οδοντωτά στην περιφέρεια και τριχωτά. Η ονομασία του γένους οφείλεται στο γεγονός ότι η ταξιανθία (επονομαζόμενη ως κεφαλή) ακολουθεί τον ήλιο καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας και στρέφεται πάλι προς την ανατολή το πρωί. Η κίνηση αυτή σταματά μετά την άνθηση και την γονιμοποίηση των ανθέων. Το εμπορικό προϊόν που παράγεται από τους σπόρους του είναι το έλαιο το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βρώσιμο (π.χ. το κοινώς γνωστό ως ηλιέλαιο) ή ως βιοντίζελ.

Από τον 19^ο αιώνα υπάρχει παραγωγή και εμπορία ηλιελαίου σε μεγάλη κλίμακα στη Ρωσία, η οποία το 1991-92 έφθασε να παράγει το 27% της παγκόσμιας παραγωγής κατέχοντας την 1^η θέση. Ο ηλίανθος με 21 εκατομ. τόνους κατέχει την 3^η θέση μετά τη σόγια και το βαμβάκι στην παγκόσμια παραγωγή ελαιούχων σπόρων. Σήμερα καλλιεργείται παγκοσμίως σε 180 εκατομμύρια στρέμματα με πρώτη χώρα τις ΗΠΑ (10 εκατομμύρια στρέμματα). Στην Ευρώπη, την 1^η θέση κατέχει η Ισπανία με 8,5 εκατομμύρια στρέμματα, ενώ η Ελλάδα κατέχει την 8^η θέση με 150-200 χιλιάδες στρέμματα, με μέση απόδοση 131-150 kg/στρ σε ξηρικές εκτάσεις και 300 kg/στρ σε αρδευόμενες εκτάσεις (FAO 2001).

Η απόδοση του σπόρου του ηλίανθου ,που μπορεί να φτάσει και 4,5-5 t/ha μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε εδάφη με υψηλή στάθμη υπόγειου νερού όπως αυτά της δυτικής Θεσσαλίας κάτω από μειωμένες εισροές άρδευσης και αζωτούχου λίπανσης (Geronikolou *et al.*, 2005, Danalatos *et al.*, 2005). Τέτοιες αποδόσεις είναι τρεις φορές

υψηλότερες σε σύγκριση με τις αποδόσεις ηλίανθου που λαμβάνουν χώρα στη βόρεια Ελλάδα.

Ο ηλίανθος είναι μια πλούσια πηγή φυτικού ελαίου με μεγάλη περιεκτικότητα σε πολυακόρεστα λιπαρά οξέα κυρίως παλμιτικό, στεατικό, ελαϊκό και λινελαϊκό. (Fuller et al. 1967). Το ελαϊκό και λινελαϊκό οξύ αποτελούν το 85-90% των συνολικών λιπαρών οξέων των σπόρων (Kilman, 1964, Lagravere et al., 1998, Murphy 1994). Η μέση περιεκτικότητα ολόκληρου του σπόρου σε λάδι είναι περίπου 45%.

1.3 Κενάφ

Το Κενάφ είναι ένα φυτό της οικογένειας *Malvaceae*, του γένους *Hibiscus* και του είδους *cannabinus*. Πρόκειται για ένα ετήσιο εαρινό φυτό μικρής φωτοπεριόδου. Ο βιολογικός κύκλος του φυτού είναι περίπου 3-7 μήνες αναλόγως της ποικιλίας (Angelini et al., 1998; Alexopoulou et al., 2000; Danalatos and Archontoulis, 2010). Τα φύλλα του ποικίλουν αναλόγως της ποικιλίας (για παράδειγμα μεταξύ των δύο ποικιλιών Everglades 41 και Tainung 2). Τα στελέχη αποτελούνται από ένα κεντρικό στέλεχος και επιμέρους βραχίονες (αναλόγως τη διάταξη των φυτών στο αγρό). Τα άνθη έχουν διάμετρο 8-15 cm, χρώματος άσπρου, κίτρινου, ή μωβ. Όταν τα άνθη είναι λευκά ή κίτρινα, το κέντρο του άνθους είναι σκούρο κόκκινο. Ο καρπός είναι κάψα διαμέτρου 2 cm και περιέχει αρκετούς σπόρους. Το κενάφ καλλιεργείται κυρίως για τα στελέχη του, τα οποία αποδίδουν την καλύτερη ποιότητα χαρτιού.

Όσον αφορά την απόδοση, σε χλωρό και ξηρό βάρος εξαρτάται από την ποικιλία, τις εδαφοκλιματικές συνθήκες της περιοχής καθώς και από τις καλλιεργητικές φροντίδες. Στην Ελλάδα μέγιστες αποδόσεις έφτασαν τους 44 και 93 t/ha σε χλωρό βάρος για τις πρώιμες και όψιμες ποικιλίες αντίστοιχα, ενώ η μέγιστη απόδοση σε ξηρό βάρος κυμάνθηκε από 10,14 έως και 22 t/ha για πρώιμες και όψιμες ποικιλίες αντίστοιχα (Alexopoulou et. al., 2000; Danalatos and Archontoulis, 2004, 2010; Danalatos et. al., 2006). Επίσης η παραγωγικότητα του κενάφ ήταν υψηλότερη όταν η καλλιέργεια εγκαταστάθηκε το Μάιο και χαμηλότερη όταν η καλλιέργεια σπάρθηκε τον Ιούνιο (Danalatos and Archontoulis, 2004). Στην Ελλάδα οι αποδόσεις του κενάφ σε ξηρό βάρος είναι μεγαλύτερες σε σχέση με άλλες χώρες της Ευρώπης, κυρίως λόγω των ευνοϊκών κλιματολογικών συνθηκών που επικρατούν στη χώρα μας.

Οι όψιμες ποικιλίες δίδουν υψηλότερες αποδόσεις από τις πρώιμες κάτω από τις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος και καλλιέργειας (Pertini 1994, Ayerza and Coates 1996). Η Tainung 2 φαίνεται να δίδει τις μεγαλύτερες αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα και σε ξηρούς βλαστούς, που κυμαίνονται από 1,38-2,18 t/στρ, αλλά τις μικρότερες αποδόσεις σε ποσοστό φλοιού (bark), γι' αυτό έχει χαρακτηριστεί ως η καλύτερη επιλογή για την παραγωγή ινών από τον εσωτερικό ξυλώδη βλαστό (core) (Webber 1993b, 1997).

Σύμφωνα με το USDA, οι καλύτερες αποδόσεις για την παραγωγή ινών ανήκουν στην ομάδα που περιλαμβάνει τις: Tainung 1, Tainung 2, Everglades 41, Everglades 71, "SF 459", "N 7", "Cuba 108" και "Cubano" (Webber and Bledsoe 2002). Στην Ιταλία, μεταξύ 24 δοκιμασμένων ποικιλιών, οι ποικιλίες Tainung 2, Everglades 41 και Mal 1, ήταν οι πιο παραγωγικές σε ξηρούς βλαστούς (Pertini *et al.*, 1994), ενώ μεταξύ των δύο ποικιλιών, Tainung 2 και Everglades 41 φαίνεται ότι η πρώτη δίδει υψηλότερες αποδόσεις (Ayerza and Coates 1996; Beloncchni *et al.*, 1998, Ching *et al.*, 1993).

Στην Ελλάδα τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν επίσης υπεροχή των ποικιλιών Tainung 2 και Everglades 41 με σημαντικά μεγαλύτερες αποδόσεις από τις άλλες ποικιλίες που δοκιμάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, μετά από ένα διετές πείραμα (1989-1990) όπου δοκιμάστηκε ένας αριθμός ποικιλιών (WJR-209, UZBETSKY 88FT, HC 1, G 40-6557, UZBETSKY R87, 8652-387) στην Καρδίτσα, που όμως δεν οδήγησε στην παραγωγή ουσιαστικών αποτελεσμάτων (Κοσμίδου *et al.* 1990). Επανάληψη της μελέτης του κενάφ έγινε την περίοδο 1997-1999 από το ΚΑΠΕ. Σε αυτά τα πέντε πειράματα (Alexoroulou *et al.* 2000, Alexoroulou και Christou 2001) που πραγματοποιήθηκαν στην Κωπαΐδα και Αλιάρτο μελετήθηκαν τέσσερις πρώιμες ποικιλίες (P.I. 3234923, P.I. 248901, P.I. 318723 και G4) και επτά όψιμες ποικιλίες (Everglades 41, Everglades 71, Tainung 1, Tainung 2, JT1, Mal 1 και Salvador). Σε όλες τις περιπτώσεις οι πρώιμες ποικιλίες έδωσαν χαμηλότερα φυτά με σημαντικά λιγότερη συνολική βιομάζα και βάρος βλαστών από ότι οι όψιμες.

Παρά την ιδιαίτερα μεγάλη παραλλακτικότητα στη βιομάζα μεταξύ των ετών, φάνηκε ότι πάλι οι ποικιλίες Tainung 2 και Everglades 41 έδωσαν τις μεγαλύτερες αποδόσεις που ξεπέρασαν τους 2,0 t/στρ, ενώ των πρώιμων έφθασαν τον 1,0 t/στρ. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η πρώιμη G4 έδωσε μεγάλο ποσοστό φλοιού (39,88%), ενώ η Tainung 2 μικρό (34,4%). Η αύξηση της βλαστικής περιόδου βοήθησε στην αύξηση του βάρους της ξηρής βιομάζας. Διαφάνηκε μικρή στατιστική σημαντική διαφορά

Οι όψιμες ποικιλίες δίδουν υψηλότερες αποδόσεις από τις πρώιμες κάτω από τις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος και καλλιέργειας (Pertini 1994, Ayerza and Coates 1996). Η Tainung 2 φαίνεται να δίδει τις μεγαλύτερες αποδόσεις σε ξηρή βιομάζα και σε ξηρούς βλαστούς, που κυμαίνονται από 1,38-2,18 t/στρ, αλλά τις μικρότερες αποδόσεις σε ποσοστό φλοιού (bark), γι' αυτό έχει χαρακτηριστεί ως η καλύτερη επιλογή για την παραγωγή ινών από τον εσωτερικό ξυλώδη βλαστό (core) (Webber 1993b, 1997).

Σύμφωνα με το USDA, οι καλύτερες αποδόσεις για την παραγωγή ινών ανήκουν στην ομάδα που περιλαμβάνει τις: Tainung 1, Tainung 2, Everglades 41, Everglades 71, "SF 459", "N 7", "Cuba 108" και "Cubano" (Webber and Bledsoe 2002). Στην Ιταλία, μεταξύ 24 δοκιμασμένων ποικιλιών, οι ποικιλίες Tainung 2, Everglades 41 και Mal 1, ήταν οι πιο παραγωγικές σε ξηρούς βλαστούς (Pertini *et al.*, 1994), ενώ μεταξύ των δύο ποικιλιών, Tainung 2 και Everglades 41 φαίνεται ότι η πρώτη δίδει υψηλότερες αποδόσεις (Ayerza and Coates 1996; Beloncchni *et al.*, 1998, Ching *et al.*, 1993).

Στην Ελλάδα τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν επίσης υπεροχή των ποικιλιών Tainung 2 και Everglades 41 με σημαντικά μεγαλύτερες αποδόσεις από τις άλλες ποικιλίες που δοκιμάστηκαν. Πιο συγκεκριμένα, μετά από ένα διετές πείραμα (1989-1990) όπου δοκιμάστηκε ένας αριθμός ποικιλιών (WJR-209, UZBETSKY 88FT, HC 1, G 40-6557, UZBETSKY R87, 8652-387) στην Καρδίτσα, που όμως δεν οδήγησε στην παραγωγή ουσιαστικών αποτελεσμάτων (Κοσμίδου *et al.* 1990). Επανάληψη της μελέτης του κενάφ έγινε την περίοδο 1997-1999 από το ΚΑΠΕ. Σε αυτά τα πέντε πειράματα (Alexoroulou *et al.* 2000, Alexoroulou και Christou 2001) που πραγματοποιήθηκαν στην Κωπαΐδα και Αλιάρτο μελετήθηκαν τέσσερις πρώιμες ποικιλίες (P.I. 3234923, , P.I. 248901, P.I. 318723 και G4) και επτά όψιμες ποικιλίες (Everglades 41, Everglades 71, Tainung 1, Tainung 2, JT1, Mal 1 και Salvador). Σε όλες τις περιπτώσεις οι πρώιμες ποικιλίες έδωσαν χαμηλότερα φυτά με σημαντικά λιγότερη συνολική βιομάζα και βάρος βλαστών από ότι οι όψιμες.

Παρά την ιδιαίτερα μεγάλη παραλλακτικότητα στη βιομάζα μεταξύ των ετών, φάνηκε ότι πάλι οι ποικιλίες Tainung 2 και Everglades 41 έδωσαν τις μεγαλύτερες αποδόσεις που ξεπέρασαν τους 2,0 t/στρ, ενώ των πρώιμων έφθασαν τον 1,0 t/στρ. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η πρώιμη G4 έδωσε μεγάλο ποσοστό φλοιού (39,88%), ενώ η Tainung 2 μικρό (34,4%). Η αύξηση της βλαστικής περιόδου βοήθησε στην αύξηση του βάρους της ξηρής βιομάζας. Διαφάνηκε μικρή στατιστική σημαντική διαφορά

μεταξύ των ποικιλιών Tainnung 2 vs Everglades 41 (Danalatos and Archontoulis, 2004).

1.4 Αγριαγκινάρα

Η αγριαγκινάρα είναι πολυετές C₃ φυτό της οικογένειας *Asteraceae*, του γένους *Cynara* και του είδους *cardunculus*. Ο βιολογικός κύκλος της αγριαγκινάρας είναι περίπου 11 μήνες. Τα στάδια ανάπτυξης του φυτού προσδιοριστήκαν πρόσφατα από τον Archontouli et al. (2010α) σύμφωνα με το διεθνές BBCH σύστημα, όπως στην περίπτωση του ηλίανθου. Τα φύλλα της είναι ελλειπτικά και καλλιεργείται κυρίως για την παραγωγή ξηρής βιομάζας, συμπεριλαμβανομένων των κεφαλών με τους σπόρους.

Η απόδοση της αγριαγκινάρας εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, την επάρκεια της εδαφικής υγρασίας, τη διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών στο έδαφος και κυμαίνεται από 1-3 t/στρ σε ξηρή ουσία, αναλόγως των παραπάνω παραγόντων (Πουλέας, 2001; Danalatos et al., 2007, Archontoulis et al., 2008). Ο σπόρος της αγριαγκινάρας περιέχει κατά μέσο όρο 23% λάδι (εύρος: 19-32%), το οποίο έχει παρόμοιες ιδιότητες με αυτό του ηλίανθου (Archontoulis et al., 2010β). Αυτούσιο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πετρέλαιο-κινητήρες. Το δυναμικό παραγωγής του σπόρου ανέρχεται στα 480 kg/στρ, ενώ οι συνηθέστερες παραγωγικότητες είναι της τάξης των 70-330 kg/στρ σε συνάρτηση πάντα με την ολική παραγωγή βιομάζας (Archontoulis et al., 2010β). Η αγριαγκινάρα παράγει μια σύνθετη ταξιανθία, όπου οι κεφαλές ποικίλουν σε αριθμό, βάρος, μέγεθος και περιεκτικότητα σε σπόρους. Για την Ελλάδα οι αποδόσεις κάτω από αντίξοες συνθήκες έχουν βρεθεί ότι είναι 1.5 t/στρ (Danalatos et al., 2007). Η βιομάζα της αγριαγκινάρας αποτελείται από διάφορα μέρη με διαφορετική θερμική αξία.

Η ξηρή εναέρια βιομάζα της μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή για θέρμανση, στην αρχική της μορφή ή μετά από πυρόλυση.

1.5 Σκοπός της μελέτης

Με βάση το έντονο ενδιαφέρον για τις παραπάνω 3 ενεργειακές καλλιέργειες οι οποίες μαζί καλύπτουν ένα μεγάλο φάσμα ενεργειακών εφαρμογών (ηλίανθος για βιοντίζελ, κενάφ για στερεό καύσιμο, υγρό καύσιμο ($2^{\text{η}}$ γενιά), και παρα-προϊόντα για τη βιομηχανία, αγριαγκινάρα για στερεό και υγρό καύσιμο), και έχουν διαφορετικούς βιολογικούς κύκλους (από 3 έως 11 μήνες), ο σκοπός της παρούσας μελέτης είναι να αυξήσει την γνώση μας πάνω σε αυτές τις καλλιέργειες.

Συγκεκριμένα ο σκοπός της μελέτης είναι να προσδιορίσει πρώτα το δείκτη διάχυσης φωτός, ΚΛ, (light extinction coefficient) για τις ενεργειακές καλλιέργειες του ηλίανθο, κενάφ και αγριαγκινάρας σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των φυτών και κάτω από διαφορετικά επίπεδα άρδευσης, και δεύτερων να δει κατά πόσο κοινές υποθέσεις χρησιμοποιούνται στα μοντέλα πρόγνωσης παραγωγικότητας ότι το ΚΛ (light extinction coefficient) είναι σταθερό είναι βάσιμες.

Στην βιβλιογραφία τέτοια μελέτη για τα συγκεκριμένα φυτά δεν έχει ξαναγίνει, κυρίως για την αγριαγκινάρα.

2. Υλικά και Μέθοδοι

2.1 Γενική περιγραφή

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρονται οι καλλιεργητικές τεχνικές, φαινολογικές παρατηρήσεις, ποικιλίες που χρησιμοποιήθηκαν, ο βιολογικός κύκλος τους κύκλους καθώς και τα στάδια ανάπτυξής τους.

Πίνακας 1. Καλλιεργητικές πρακτικές και σπουδαιότερες φαινολογικές παρατηρήσεις			
	Ηλίανθος	Κενάφ	Αγριαγκινάρα
Ποικιλία	Panter	Everglades 41	Biango avorio
Χρόνος σποράς	15/5/09	15/5/09	30/11/08
Πυκνότητα φυτών m ⁻²	6.6 ± 0.8	13 ± 3.8	4.3 ± 1.1
Απόσταση σειρά με σειρά (cm)	75	75	75
Εφαρμογή λιπάσματος N–P–K (g m ⁻²) ^a	8–5–5	8–5–5	8–5–5
Μεταχειρήσεις νερού (mm) ^b			
T1	378	628	755
T2	143	227	617
Βασική θερμοκρασία ανάπτυξης (°Cd)	5	7,5	10
Βιολογικός κύκλος (°Cd)	2100	1900	650 + 1600 = 2250
Στάδια ανάπτυξης (BBCH) ^γ	(BBCH 10–97)	(εμφάνιση-άνθηση)	(BBCH 10–49; 50–97)
Περίοδος παρατηρήσεων	BBCH 35–73	βλαστική περίοδο	BBCH 10–37
α: P (φώσφορο) και K (κάλιο) εφαρμόστηκε πριν τη σπορά. Το N (άζωτο) εφαρμογή κατά τη διάρκεια της αύξησης και ανάπτυξης των καλλιεργειών β: T1= πλήρως αρδευόμενο; T2 = μειωμένη άρδευση; Οι τιμές (mm) είναι άθροισμα της βροχόπτωσης και της άρδευσης μαζί από την βλάστηση μέχρι και την τελευταία δειγματοληψία. γ: τα στάδια ανάπτυξης του ηλίανθου περιγράφηκαν από τον (Lancashire <i>et al.</i> , 1991), της αγριαγκινάρας από τον Archontoulis <i>et al.</i> , 2010α σύμφωνα με το «BBCH» σύστημα.			

2.2 Συνθήκες ανάπτυξης ,είδη, διαχείριση και κλίμα

Τα πειράματα έλαβαν χώρα σε πηλώδης γόνιμο έδαφος με υψηλή στάθμη υδροφόρου ορίζοντα στην περιοχή του Παλαμά Καρδίτσας (39° 25'N, 22° 05'E, 107 μ.) το έτος 2009. Οι καλλιέργειες του ηλίανθου, του κενάφ και της αγριαγκινάρας, μελετήθηκαν στον ίδιο αγρό (πειράματα το ένα δίπλα στο άλλο, έκτασης 200 m² το καθένα) και οι σειρές όλων των φυτών είχαν προσανατολισμό ανατολή - δύση . Δεν έγινε καμία απόπειρα ώστε να συμπεριληφθούν τα είδη στο ίδιο πειραματικό σχέδιο για λόγους πρακτικής διευκόλυνσης (πχ. εφαρμογή άρδευσης και παρεμβολές μεταξύ των τμημάτων του χωραφιού). Σε κάθε καλλιέργεια τα ζιζάνια-έντομα ελέγχονταν χημικά και με το χέρι (τσάπισμα), ενώ δεν παρατηρήθηκαν σοβαρές ασθένειες. Ο ηλίανθος και το κενάφ είναι ταχέως αναπτυσσόμενες εαρινές καλλιέργειες (Διαγράμματα 1, 2γ, 3γ, 4γ), ενώ η αγριαγκινάρα είναι μια πολυετής καλλιέργεια με ετήσιους κύκλους 11 μηνών η καθεμία.

Οι διαφορετικές επεμβάσεις (πειραματικοί παράγοντες) που μελετήθηκαν ήτανε δύο επίπεδα άρδευσης : T1: πλήρης άρδευση, T2: μειωμένη άρδευση, που εφαρμόστηκαν με τη βοήθεια συστήματος στάγδην αρδεύσεως. Το εύρος άρδευσης για τις εαρινές καλλιέργειες, υπολογίστηκε με βάση τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή (για υπολογισμούς για την συγκεκριμένη τοποθεσία βλέπε Danalatos και Archontoulis, 2010). Άρδευση εφαρμόστηκε ανά εβδομάδα περίπου (Διαγράμματα 2α,3α) για την T1 μεταχείριση ενώ για την T2 μεταχείριση (μειωμένη άρδευσης), άρδευση εφαρμόστηκε 1-2 φορές κατά τη διάρκεια της πρώιμης ανάπτυξης. Για την αγριαγκινάρα οι εφαρμογές άρδευσης ήτανε μόλις 3 για την μεταχείριση T1 κατά την περίοδο της ταχείας αύξησης σε βιομάζα (στάδιο BBCH 55-65, περίοδο Μάιος-Ιούνιος) και μηδέν εφαρμογές άρδευσης στην μεταχείριση T2, όπως άλλωστε και σε κανονικές συνθήκες καλλιέργειας (ως ξηρική).

Η συλλογή ωριαίων μετεωρολογικών δεδομένων, καταγράφονταν με τη χρήση ενός αυτόματου μετεωρολογικού σταθμού (DL2, Delta-T, UK), ο οποίος είχε εγκατασταθεί στον πειραματικό χώρο και απαρτίζεται από τους παρακάτω αισθητήρες μέτρησης:

- Φωτός (PYRANOMETER)
- Θερμοκρασίας (THERMISTORS)
- Βροχόπτωσης (ARG 100)
- Ταχύτητας ανέμου (THIES CLIMA)

Η μέση θερμοκρασία αέρα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (2009), ήταν 24,6 °C (Διάγραμμα 1), τιμή πολύ κοντινή στη μέση κλιματική τιμή για την τοποθεσία αυτή, που ανέρχεται στους 25 °C. Η συνολική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια του χειμώνα ως και την άνοιξη ήταν 295 mm (Διάγραμμα. 4α). Κρίνεται απαραίτητο να σημειωθεί ότι η ακτινοβολία δεν αποτελεί περιοριστικό παράγοντα στην περιοχή αυτή (μέσος Όρος κατά την καλοκαιρινή περίοδο: 25 MJ m⁻² d⁻¹).

2.3 Πρωτόκολλο εργασίας

Εαρινά φυτά – κενάφ και ηλίανθος

Για τις καλλιέργειες του ηλίανθου και του κενάφ, πρώτα μετρήθηκε το ποσοστό της φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας (PAR) που δεσμεύεται από την φυλλοστοιβάδα (canopy), κατόπιν ακολούθησε η δειγματοληψία των φυτών για τις μετρήσεις της φυλλικής. Οι μετρήσεις ξεκίνησαν όταν το ύψος των φυτών ήταν περί τα 25 εκατοστά. Κατά την πρώτη δειγματοληψία το φυτό δεν χωρίστηκε σε επίπεδα, αλλά μετρήθηκε το ποσοστό της PAR φτάνει στο έδαφος (ένα επίπεδο, ολόκληρο φυτό).

Αργότερα, όταν το ύψος των φυτών αυξήθηκε (βλέπε Διαγράμματα. 2β, 3β), αυξήθηκε σταδιακά και ο αριθμός των επιπέδων/στρωμάτων εντός της φυλλοστοιβάδας που λαμβανόταν μετρήσεις PAR σε τρία για τον ηλίανθο και σε πέντε για την καλλιέργεια του κενάφ. Αυτά τα συνεχή επίπεδα/στρώματα εντός της φυλλοστοιβάδας που μετρούταν η PAR είχαν ίσο κάθετο μήκος σε κάθε καλλιέργεια και υπολογίζονταν με βάση το ολικό ύψους των φυτών ηλίανθου και κενάφ.

Όλες οι μετρήσεις έγιναν κατά την διάρκεια των διαφόρων βλαστικών σταδίων για το κενάφ και κατά τη διάρκεια των βλαστικών και αναπαραγωγικών σταδίων για τον ηλίανθο (βλέπε Πίνακα 1, BBCH).

Χειμερινό φυτό, αγριαγκινάρα

Στην αγριαγκινάρα το ποσοστό της PAR που απορροφάτε από την φυλλοστοιβάδα μετρήθηκε μονό κατά την βλαστική περίοδο (BBCH 10-37, Πίνακας 1) για πρακτικούς λόγους, διότι στα αναπαραγωγικά στάδια τα φυτά έχουν πολύ μεγάλο δείκτη φυλλικής επιφανείας που καθιστά μετρήσεις PAR πολύ δύσκολες

αδύνατες. Κατά τη διάρκεια της μετρήσεις PAR στην αγριαγκινάρα δεν εφαρμόσαμε διαφορετικά στρώματα όπως κάναμε στο ηλιάνθο και στο κενάφ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αγριαγκινάρα κατά την διάρκεια των βλαστικών σταδίων βρίσκεται σε μορφή ροζέτας (δηλαδή όλα τα φύλλα εκφύονται κοντά στο έδαφος, χωρίς να υπάρχει εμφανής βλαστός).

2.4 Μετρήσεις

Το ποσοστό δέσμευσης PAR σε διάφορα επίπεδα εντός της φυλλοστοιβάδας μετρήθηκε με τη χρήση ενός 1-m αισθητήρα φωτός SUNSCAN (Delta-T Devices, Cambridge, UK). Οι μετρήσεις έγιναν με καθαρό ουρανό ώστε να αποφευχθεί κακή ποιότητα φωτοσυνθετικά ενεργούς ακτινοβολίας PAR (Ο' Connell et al., 2004) και κατά τη διάρκεια της μέγιστης απόστασης του ήλιου από την περιοχή (11:30-13:30 το μεσημέρι). Σε κάθε μέτρηση, υπήρχε και ένας αισθητήρας αναφοράς φωτός, ο οποίος βρισκόταν τοποθετημένος πάνω από τη φυλλοστοιβάδα για να παρέχει ταυτόχρονες μετρήσεις PAR, με σκοπό να υπολογισθεί το ποσοστό δέσμευσης.

Στο κάτω στρώμα κάθε επιπέδου εντός της φυλλοστοιβάδας ο ευθύγραμμος αισθητήρας του ενός μέτρου τοποθετήθηκε διαγώνια ανάμεσα από δύο σειρές φυτών (σε σχήμα X) και 10 μετρήσεις καταγραφόντουσαν. Αυτό επαναλαμβανόταν για όλα τα διαφορετικά επίπεδα εντός της φυλλοστοιβάδας. Επιπλέον για τον έλεγχο του αισθητήρα του φωτός ελήφθησαν λίγες μετρήσεις στο πάνω μέρος της φυλλοστοιβάδας. Σε κάθε μεταχείριση καλλιεργούμενων ειδών × χρόνος εντός του βιολογικού κύκλου × άρδευση × χρόνια, οι μετρήσεις PAR γινόταν σε δύο ως τεσσάρων ανεξάρτητα δείγματα (επαναλήψεις).

Νωρίς κατά τη διάρκεια του επόμενου πρωινού, γινόταν η χειρονακτική δειγματοληψία των φύλλων από τα μετρημένα φυτά (2 σειρές των 0,66 m εκάστη = 1 m²) και η πράσινη περιοχή των φύλλων (εφεξής δείκτης φυλλικής επιφάνειας, LAI) μετριότανε με τη χρήση του LI-COR μηχανήματος (LI-3000A, Νεμπράσκα, ΗΠΑ). Τα δείγματα των φύλλων (εκτός μίσχου) ξηραινότανε στους 70 °C ως ίσα βάρη και ζυγίζονταν ξερά.

2.5 Υπολογισμοί των μορφολογικών και φαινολογικών δεικτών

Έγινε διάκριση του LAI (πράσινη επιφάνεια του καθαρού πράσινου φύλλου ανά συγκομισθείσα έκταση εδάφους, $m^2 m^{-2}$) από το δείκτη πράσινης επιφάνειας GAI (φυλλική επιφάνεια των πράσινων φύλλων και μίσχων μαζί ανά συγκομισθείσα έκταση του εδάφους, $m^2 m^{-2}$). Οι επιφάνεια των μίσχων υπολογίστηκε διότι δεσμεύουν PAR. Για να υπολογιστεί το GAI, η υπολογισθείσα έκταση του μίσχου προστέθηκε στον LAI. Οι κύριοι βλαστοί και οι ταξιανθίες του ηλίανθου ανά τετραγωνικό μέτρο δεν συμπεριλήφθηκαν στον υπολογισμό του GAI.

Η ειδική φυλλική επιφάνεια (SLA, m^2 πράσινου καθαρού φύλλου kg^{-1} ανά ξηρή ουσία καθαρού φύλλου χωρίς μίσχο) υπολογίστηκε διαιρώντας την πράσινη περιοχή του φύλλου με το αντίστοιχο βάρος του.

Για την εκτίμηση του ρυθμού φυσιολογικής ωρίμανσης μιας καλλιέργειας συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος των προστιθέμενων θερμομονάδων (GDD, $^{\circ}Cd$) που υπερτερεί έναντι της ημερολογιακής μεθόδου (Ritchie & Nesmith, 1991). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, οι απαιτούμενες θερμομονάδες από το φύτευμα έως ένα δεδομένο φαινολογικό στάδιο της καλλιέργειας (π.χ. άνθιση, ωρίμανση), υπολογίζονται με την άθροιση των ημερήσιων αποτελεσματικών θερμοκρασιών πάνω από τη βασική θερμοκρασία ανάπτυξης της καλλιέργειας (threshold temperature) σύμφωνα με τον τύπο:

$$GDD = \sum \left[\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_b \right]$$

όπου T_{\max} και T_{\min} είναι η μέγιστη και η ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα αντίστοιχα και T_b είναι η βασική θερμοκρασία ($^{\circ}C$).

Οι βαθμοημέρες ανάπτυξης υπολογίστηκαν με βάση την ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα χρησιμοποιώντας τις παρακάτω βασικές θερμοκρασίες ανάπτυξης για τα μελετώμενα φυτά - $5^{\circ}C$ για το ηλίανθο, $7,5^{\circ}C$ για την αγριαγκινάρα και $10^{\circ}C$ για κενάφ. Οι GDD μετρήθηκε από το 50% του φυτρώματος των καλλιεργειών (ή επαναβλάστηση για την αγριαγκινάρα) βλάστηση σε όλα τα είδη. Οι βασικές θερμοκρασίες για τους υπό μελέτη γενοτύπους, προήλθαν από πειράματα βλαστικής ικανότητας των σπόρων σε διάφορα επίπεδα θερμοκρασίας (Πτυχιακή μελέτη Ε. Τεκέογλου), τα οποία μάλιστα ήταν σε συμφωνία με δημοσιευμένα στοιχεία για τον

ηλίανθο (Villalobos et al., 1996), το κενάφ (Carberry και Abrecht, 1990) και την αγριαγκινάρα (Virdis et al., 2009).

2.6 Υπολογισμός του συντελεστή διάχυσης φωτός εντός της φυλλοστοιβάδας

Η φωτοσυνθετικά ενεργή ακτινοβολία PAR εξασθενεί μέσα στη φυλλοστοιβάδα σύμφωνα με νόμο του Beer (Monsi και Saeki, 2005), με βάση τον GAI ή το LAI:

$$I_i = I_o * e^{-K_L * GAI} \quad \text{ή} \quad I_i = I_o * e^{-K_L * LAI}$$

όπου GAI ή LAI είναι η αθροιστική τιμή του GAI ή LAI από την κορυφή της φυλλοστοιβάδας προς τα κάτω, K_L (m^2 επιφάνειας εδάφους m^{-2} πράσινου φύλλου-μίσχου μαζί ή φύλλου μόνο του) είναι ο δείκτης διάχυσης PAR το μεσημέρι, I_o και I_i ($\mu mol\ m^{-2}\ s^{-1}$) είναι οι τιμές PAR σε ένα οριζόντιο επίπεδο πάνω από τη φυλλοστοιβάδα και σε βάθος i , αντίστοιχα. Κρίνεται απαραίτητο να αναφερθεί ότι η ανάλυσή μας για τον K_L βασίζεται κυρίως στον δείκτη GAI.

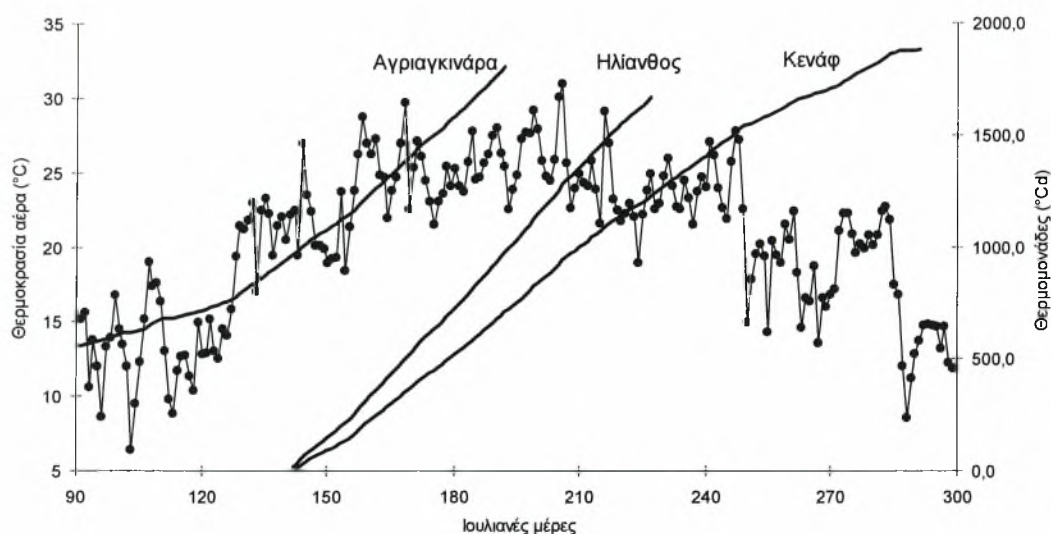
2.7 Στατιστική ανάλυση

Μετά τη συλλογή και επεξεργασία των πειραματικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε στατιστική ανάλυση με τη χρήση του στατιστικού προγράμματος GENSTAT (έκδοση 12^η). Οι παραπάνω εξισώσεις μετατράπηκαν σε γραμμικές (ln) και στην συνέχεια Γραμμικές συσχετίσεις πραγματοποιήθηκαν για κάθε μέτρηση, ενώ οι κλίσεις των γραμμών αναλύθηκαν σε βάθος (με τη χρήση πολλαπλών t-test) προκειμένου να βρούμε (i) αν και που οι γραμμές μεταξύ των μεταχειρίσεων διέφεραν λόγω των διαφορών στις κλίσεις ή στις εφαπτόμενες στο X-άξονα (ii) σημαντικές διαφορές σε μια ομάδα γραμμών. Η σημαντικότητα των διαφορών μεταξύ και ανάμεσα των εκτιμήσεων αξιολογήθηκαν με βάση το F κ και το t-test σε $P = 0.05$. Για την εξέταση των διαφορών μεταξύ των στρωμάτων της φυλλοστοιβάδας στο SLA πραγματοποιήθηκε One Way Anova για κάθε εφαρμογή ξεχωριστά.

3.Αποτελέσματα

3.1 Καιρικές συνθήκες

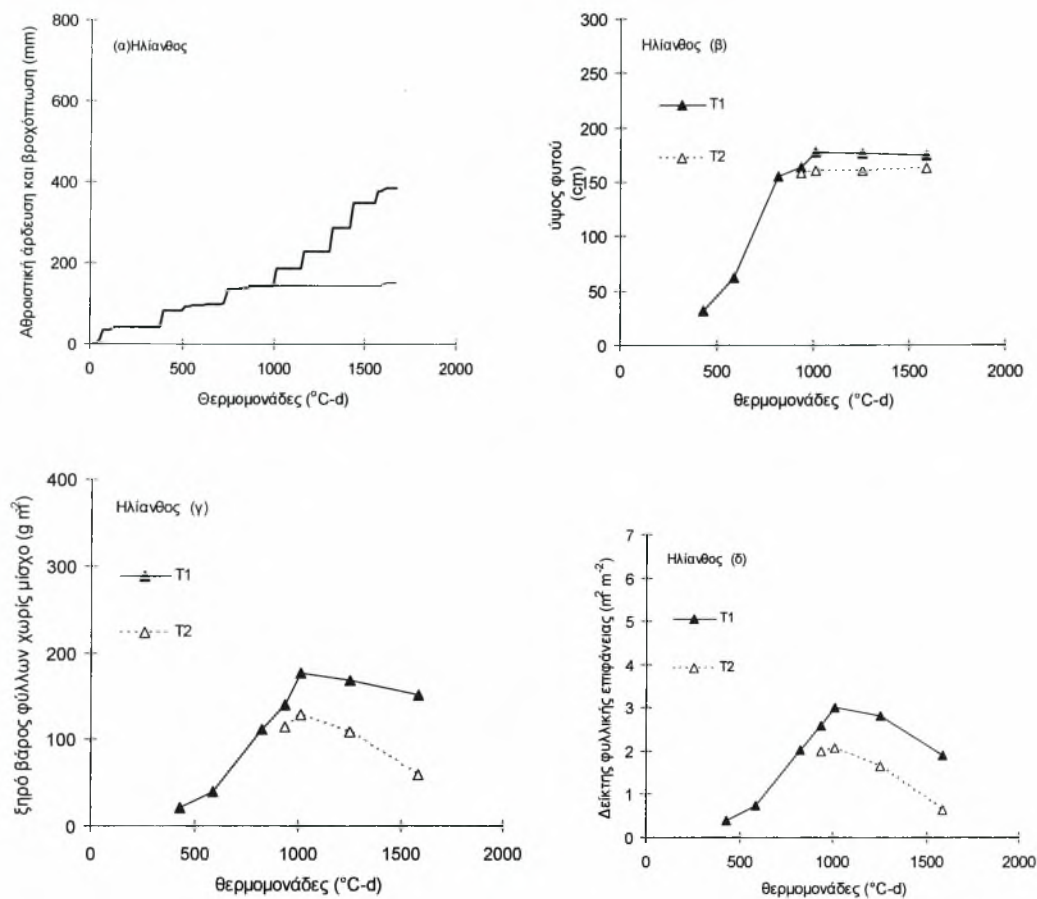
Η περιοχή διεξαγωγής των πειραμάτων έχει ένα τυπικό Μεσογειακό κλίμα με ζεστά, ξηρά καλοκαίρια και δροσερούς, υγρούς χειμώνες. Από το παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε τη μεταβολή θερμοκρασίας κατά την περίοδο του καλοκαιριού. Η μέση θερμοκρασία ήταν περίπου 25 °C, ξεκινώντας από τις 31 Μαρτίου έως και τις 27 Οκτωβρίου. Το καλοκαίρι του 2009 δεν ήταν πολύ ζεστό, με μέσες θερμοκρασίες αέρα που δεν υπερέβαιναν τους 29 °C.



Διάγραμμα 1. Μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα (- • -) ανα Ιουλιανές ημέρες για το έτος 2009 και αθροιστικές θερμομονάδες ανά καλλιέργεια (ηλίανθος, κενάφ και αγριαγκινάρα). Ο άξονας χ απεικονίζει την ημέρα του 50% φυτρώματος για τον ηλίανθο και το κενάφ. Η αγριαγκινάρα αναβλάστησε περί τις 22 Σεπτεμβρίου (μη ορατό στο X-άξονα).

Στο διάγραμμα 1 παρατηρούμε και τις θερμομονάδες για το κάθε φυτό. Οι θερμομονάδες που συμπληρώθηκαν κατά την περίοδο αυτή (1/4/2009 έως 11/7/2009) ήταν περί τις 1800. Από την άλλη πλευρά, κατά την περίοδο ανάπτυξης των καλλιεργειών του ηλίανθου και του κενάφ ήταν 1800 θερμομονάδες και στις 3 Μαΐου έχει αρχίσει να αναπτύσσεται το κενάφ και φτάνει έως και 1900 θερμομονάδες (βλέπε επίσης Πίνακα 1) .

3.2 Ηλίανθος



Διάγραμμα 2. Αρδευόμενη (T1) και ξηρική (T2) καλλιέργεια ηλίανθου – διάγραμμα (α) αθροιστική άρδευση και βροχόπτωση μαζί, διάγραμμα (β) ύψος των φυτών, διάγραμμα (γ) ξηρό βάρος φύλλων χωρίς μίσχο και διάγραμμα (δ) δείκτης της φυλλικής επιφάνειας (LAI).

Από το διάγραμμα 2(α), όπου απεικονίζεται το άθροισμα της παροχής νερού (βροχόπτωση+άρδευση) κατά την ανάπτυξη του ηλίανθου, φαίνεται ότι στην καλλιέργεια για το διάστημα από 500-1500 θερμομονάδες (°Cd), η συσσώρευση του νερού είναι 348 mm στην αρδευόμενη καλλιέργεια ενώ στην ελλειπής άρδευσης καλλιέργεια μόλις 143 mm.

Στο διάγραμμα 2(β), όπου και απεικονίζεται η μεταβολή του ύψους της καλλιέργειας για τα δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης στην καλλιέργεια του ηλίανθου φαίνεται ότι για την μεταχείριση T1 κατά την συγκέντρωση των 936 και 1014 θερμομονάδων, το ύψος του φυτού ανέρχεται στα 164 και 177 cm, αντίστοιχα. Κατόπιν και μέχρι το τελικό στάδιο ωρίμανσης το ύψος του φυτού αρχίζει να μειώνεται. Στη δε περίπτωση της μεταχείρισης T2 το ύψος του, φτάνει τα 158 και 163 cm για τις 936 και 1585

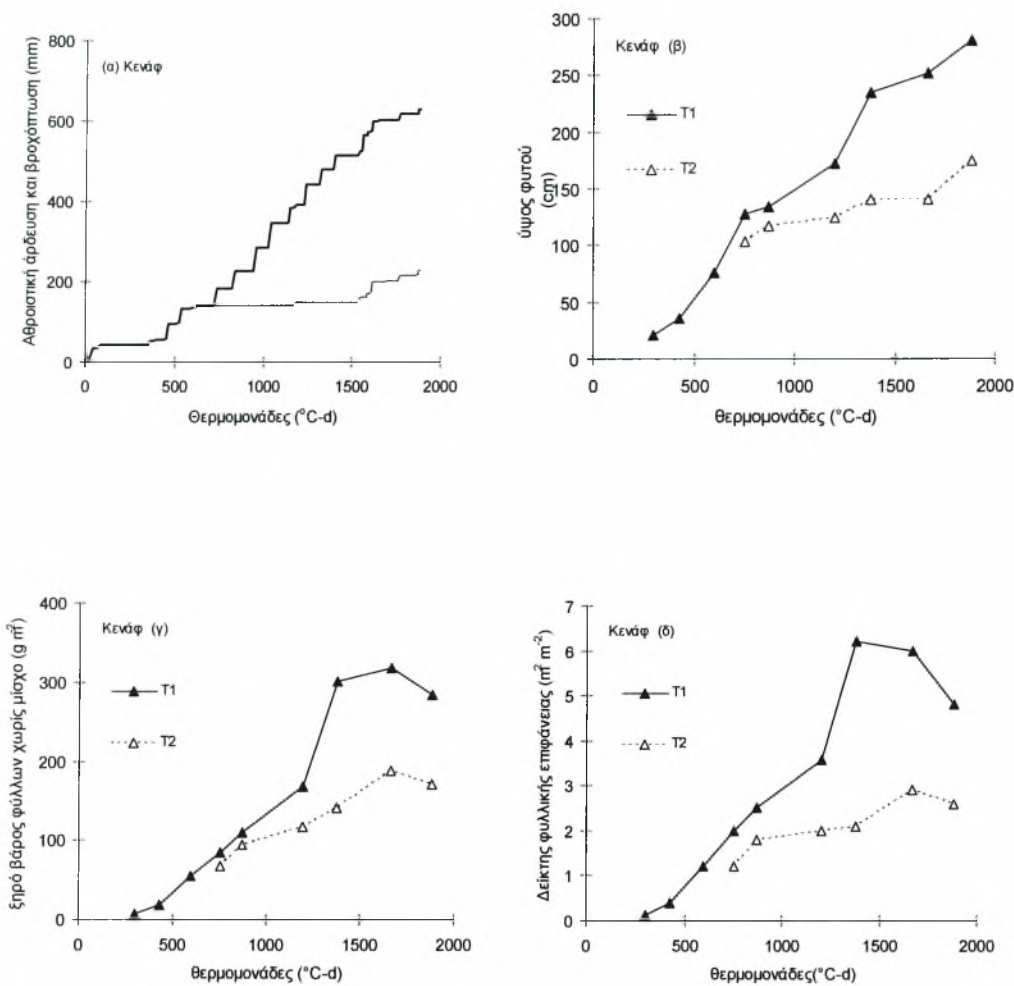
θερμομονάδες, αντίστοιχα. Φαίνεται λοιπόν ότι η παροχή νερού στην καλλιέργεια δεν αποτέλεσε περιοριστικό παράγοντα για την τελική τιμή του ύψους του φυτού αν και στα πρώτα στάδια ανάπτυξης η διαφορά του ύψους μεταξύ των μεταχειρίσεων έδειχνε να είναι παρατηρήσιμη.

Όσον αφορά το ξηρό βάρος των φύλλων, όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα 2(γ), στην περίπτωση της μεταχείρισης T1 το ξηρό βάρος των φύλλων έφτασε τα 140 και 177 gr/m² στις 936 και 1014 θερμομονάδες, αντίστοιχα. Κατόπιν και λόγω της πτώσης των φύλλων το ξηρό βάρος ακολουθεί πτωτική πορεία. Στην T2 μεταχείριση στις 936 και 1585 θερμομονάδες το ξηρό βάρος των φύλλων είναι 115 και 60 gr/m², αντίστοιχα ακολουθώντας και σε αυτή την περίπτωση παρόμοια πτωτική πορεία.

Στο διάγραμμα 2(δ) όπου και απεικονίζεται η μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), παρατηρείται ότι για την μεταχείριση T1 ο LAI παίρνει τιμές 2.6 και 3 m²/m² για τις 936 και 1014 θερμομονάδες αντίστοιχα. Η μέγιστη τιμή για τον δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) παρατηρήθηκε στις 14/7/2009 (1014 °Cd) και έπειτα μειώνεται φτάνοντας την τιμή του 1,9 m²/m². Στην περίπτωση της T2 μεταχείρισης στις 936 και 1014 θερμομονάδες ο LAI παίρνει τιμές 2 και 2.1 m²/m², αντίστοιχα και στη συνέχεια μειώνεται σε 0,6 m²/m², για τις 1585 θερμομονάδες.

Είναι εμφανή στην περίπτωση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας η επίδραση του παράγοντα της άρδευσης για την επίτευξη της μέγιστης τιμής. Στην περίπτωση της T2 μεταχείρισης το φυτό έμεινε σε χαμηλές τιμές LAI (2/3 της T1).

3.3 Κενάφ



Διάγραμμα 3. Αρδευόμενη (T1) και ξηρική (T2) καλλιέργεια κενάφ – διάγραμμα (α) αθροιστική άρδευση και βροχόπτωση μαζί, διάγραμμα (β) ύψος των φυτών, διάγραμμα (γ) ξηρό βάρος φύλλων χωρίς μίσχο και διάγραμμα (δ) δείκτης της φυλλικής επιφάνειας (LAI).

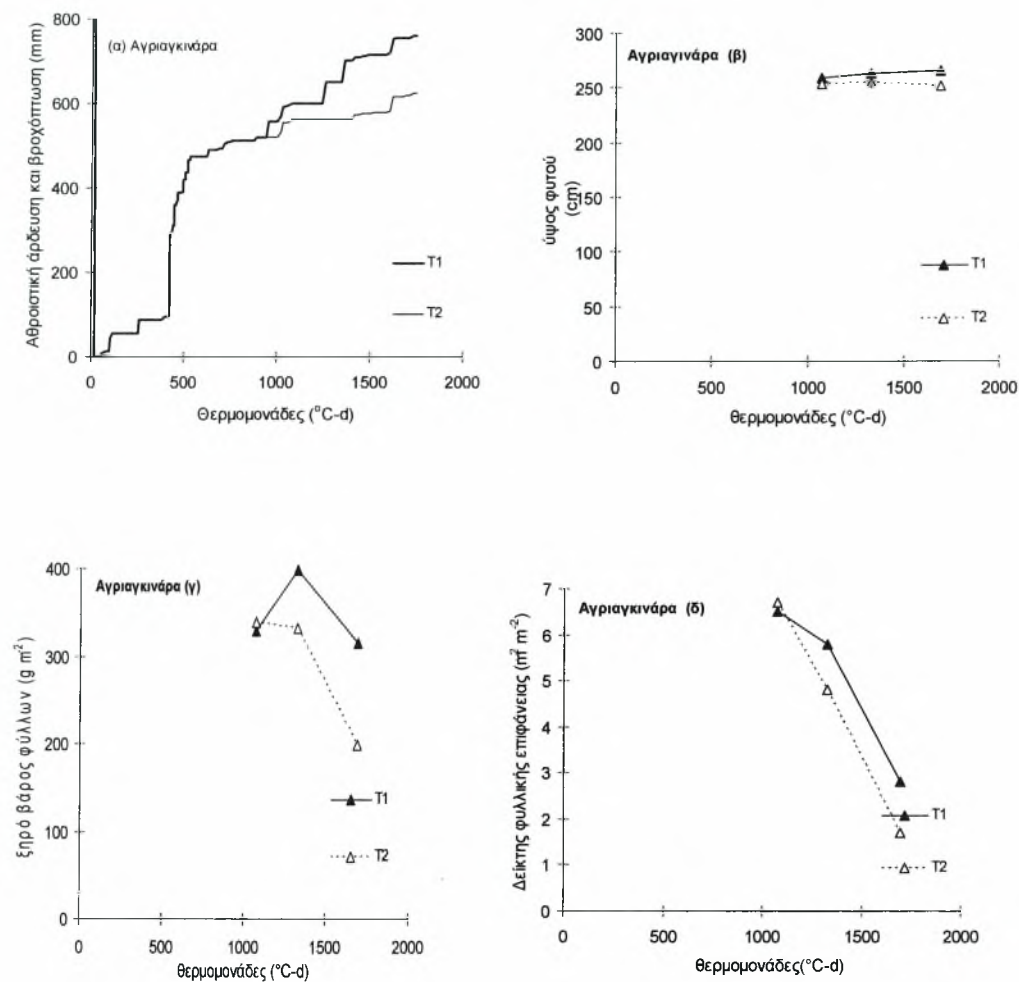
Από το διάγραμμα 3(α), όπου απεικονίζεται το άθροισμα της παροχής νερού (βροχόπτωση+άρδευση) κατά την ανάπτυξη του κενάφ, φαίνεται ότι στην καλλιέργεια για το διάστημα από 500-1500 θερμομονάδες (°Cd), η συσσώρευση του νερού είναι περί τα 515 mm στην αρδευόμενη καλλιέργεια ενώ στην ελλειπής άρδευσης καλλιέργεια μόλις 162 mm.

Στο διάγραμμα 3(β), όπου και απεικονίζεται η μεταβολή του ύψους της καλλιέργειας για τα δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης στην καλλιέργεια του κενάφ φαίνεται ότι για την μεταχείριση T1 κατά την συγκέντρωση των 751 και 1879 θερμομονάδων, το

ύψος του φυτού ανέρχεται στα 127,5 και 280cm, αντίστοιχα. Στη δε περίπτωση της μεταχείρισης T2 το ύψος του, φτάνει τα 104 και 174 cm για τις 751 και 1879 θερμομονάδες, αντίστοιχα. Φαίνεται λοιπόν ότι η παροχή νερού στην καλλιέργεια του κενάφ, αποτέλεσε περιοριστικό παράγοντα για την τελική τιμή του ύψους του φυτού. Όσον αφορά το ξηρό βάρος των φύλλων, όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα 3(γ), στην περίπτωση της μεταχείρισης T1 το μέσο ξηρό βάρος των φύλλων έφτασε τα 84 και 284 gr/m² στις 751 και 1879 θερμομονάδες, αντίστοιχα. Στην T2 μεταχείριση στις 751 και 1879 θερμομονάδες το ξηρό βάρος των φύλλων είναι 68 και 171 gr/m², αντίστοιχα.

Στο διάγραμμα 3(δ) όπου και απεικονίζεται η μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), παρατηρείται ότι για την μεταχείριση T1 ο LAI παίρνει τιμές 1,99 και 4,80 m²/m² για τις 751 και 1879 θερμομονάδες αντίστοιχα. Στην περίπτωση της T2 μεταχείρισης στις 751 και 1879 θερμομονάδες ο LAI παίρνει τιμές 1,2 και 2,6 m²/m², αντίστοιχα. Είναι εμφανή στην περίπτωση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας η επίδραση του παράγοντα της άρδευσης για την επίτευξη της μεγίστης τιμής.

3.4 Αγριαγκινάρα



Διάγραμμα 4. Αρδευόμενη (T1) και ξηρική (T2) καλλιέργεια αγριαγκινάρας – διάγραμμα (α) αθροιστική άρδευση και βροχόπτωση μαζί, διάγραμμα (β) ύψος των φυτών, διάγραμμα (γ) ξηρό βάρος φύλλων χωρίς μίσχο και διάγραμμα (δ) δείκτης της φυλλικής επιφάνειας (LAI). (Σημείωση: Από 600 έως 1000 °Cd, η αγριαγκινάρα είχε LAI>7, ενώ το ύψος των φυτών αυξήθηκε από 160 έως 250 cm).

Από το διάγραμμα 4(α), όπου απεικονίζεται το άθροισμα της παροχής νερού (βροχόπτωση+άρδευση) κατά την ανάπτυξη του κενάφ, φαίνεται ότι στην καλλιέργεια για το διάστημα από 500-1500 θερμομονάδες (°Cd), η συσσώρευση του νερού είναι περί τα 713 mm στην αρδευόμενη καλλιέργεια ενώ στην ελλειπής άρδευσης καλλιέργεια 576 mm.

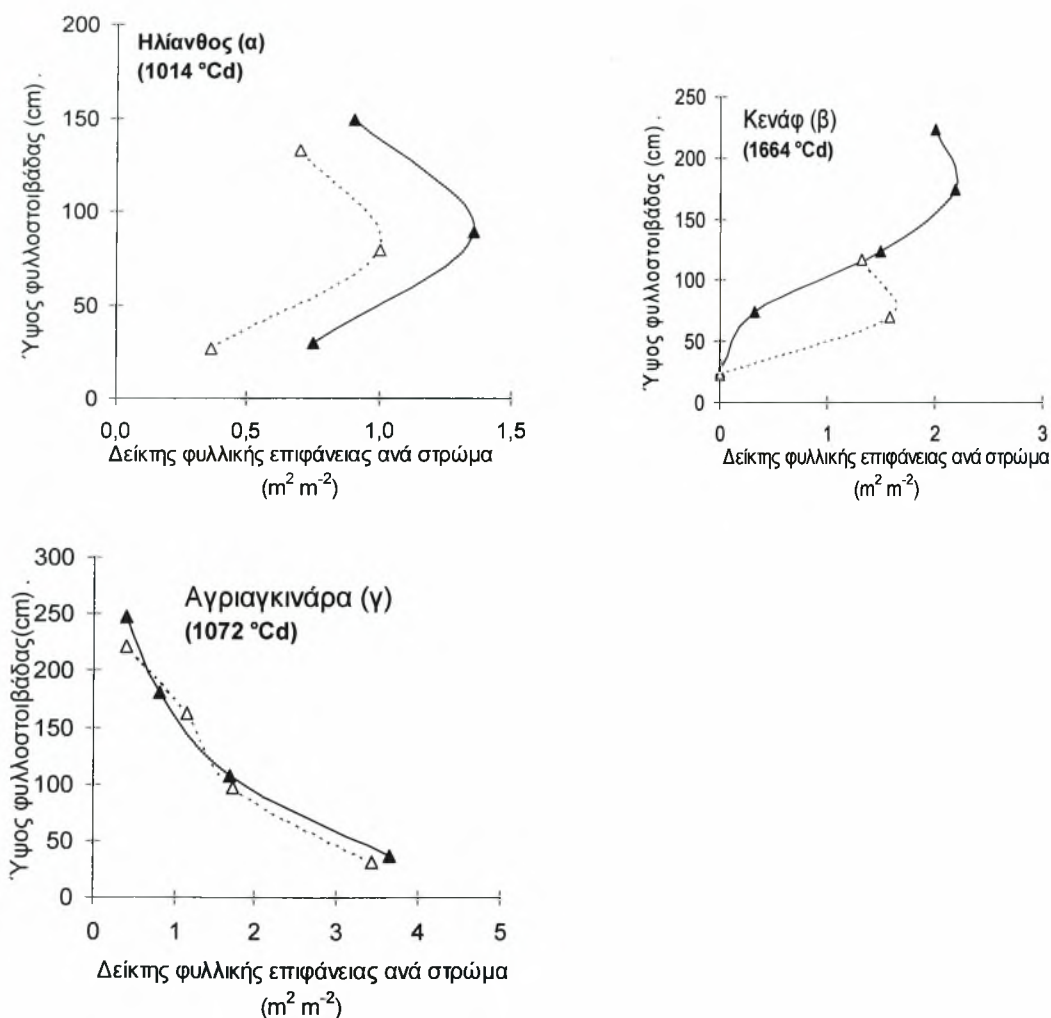
Στο διάγραμμα 4(β), όπου και απεικονίζεται η μεταβολή του ύψους της καλλιέργειας για τα δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης στην καλλιέργεια της αγριαγκινάρας φαίνεται ότι για την μεταχείριση T1 κατά την συγκέντρωση των 1072 και 1693 θερμομονάδων, το ύψος του φυτού ανέρχεται στα 259 και 265cm, αντίστοιχα. Στη δε περίπτωση της μεταχείρισης T2 το ύψος του, φτάνει τα 254 και 251 cm για τις 1072 και 1693 θερμομονάδες, αντίστοιχα. Φαίνεται λοιπόν ότι η παροχή νερού στην καλλιέργεια της αγριαγκινάρας δεν αποτέλεσε περιοριστικό παράγοντα για την τελική τιμή του ύψους του φυτού.

Όσον αφορά το ξηρό βάρος των φύλλων, όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο διάγραμμα 4(γ), στην περίπτωση της μεταχείρισης T1 το μέσο ξηρό βάρος των φύλλων έφτασε τα 329 και 315 gr/m² στις 1072 και 1693 θερμομονάδες, αντίστοιχα. Στην T2 μεταχείριση στις 1072 και 1693 θερμομονάδες το ξηρό βάρος των φύλλων είναι 339 και 198 gr/m², αντίστοιχα ακολουθώντας και σε αυτή την περίπτωση πτωτική πορεία αλλά σε μεγαλύτερο βαθμό.

Στο διάγραμμα 4(δ) όπου και απεικονίζεται η μεταβολή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI), παρατηρείται ότι για την μεταχείριση T1 ο LAI παίρνει τιμές 6,5 και 2,8 m²/m² για τις 1072 και 1693 θερμομονάδες αντίστοιχα. Στην περίπτωση της T2 μεταχείρισης στις 1072 και 1693 θερμομονάδες ο LAI παίρνει τιμές 6,7 και 1,7 m²/m², αντίστοιχα. Είναι εμφανή στην περίπτωση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας ότι ανεξάρτητα από τον παράγοντα άρδευση η τιμή του LAI μειώνεται.

3.5 Κατανομή φύλλων κατά τη χρονική περίοδο της ανθοφορίας

Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η κατανομή των φύλλων σε κάθε καλλιέργεια (ηλίανθος, κενάφ, αγριαγκινάρα), κατά τη χρονική περίοδο της ανθοφορίας (πλήρως ανεπτυγμένα φυτά).



Διάγραμμα 5. Κατανομή της φυλλικής επιφάνειας (εκφρασμένη μέσω του LAI) μεταξύ των φυλλοστοιβάδων: (α) του ηλίανθου, (β) του κενάφ και, (γ) της αγριαγκινάρας, κατά το στάδιο της ανθοφορίας (πλήρως ανεπτυγμένα φυτά). Το ύψος της φυλλοστοιβάδας έχει υπολογιστεί με σημείο αναφοράς το έδαφος (το μηδέν είναι στο έδαφος). Τα δεδομένα είναι μέσοι όροι από δύο έως τεσσάρων ανεξάρτητων επαναλήψεων για δύο διαφορετικά επίπεδα άρδευσης (T1 & T2).

Στο διάγραμμα 5(α), για την καλλιέργεια του ηλίανθου και στην περίπτωση της μεταχείρισης T1 για 3 διαφορετικά ύψη της φυλλοστοιβάδας από το έδαφος 29.8,

88.3 και 148.9 cm, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας είναι 0.8, 1.4 και 0.9 m²m⁻², αντίστοιχα. Επομένως συμπεραίνεται ότι στο μέσο ύψος η φυλλοστοιβάδα έχει την μεγαλύτερη μάζα και επομένως ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας λαμβάνει τη μέγιστη τιμή στον ηλίανθο. Αντιθέτως, σε ύψη άνω και κάτω των 88.3cm (δηλαδή του μέσου ύψους), ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα (περίπου 0,85).

Τα αποτελέσματα στην περίπτωση της καλλιέργειας του ηλίανθου για την T2 μεταχείριση ήταν παρόμοια. Για ακόμη μία φορά η μέγιστη τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας παρατηρήθηκε στο μέσο ύψος (περίπου 80 cm) και είναι ίση με 1 m²m⁻², και σε ύψη, άνω και κάτω από το μέσο ύψος, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας είναι μικρότερος (0,4 και 0,7 αντίστοιχα).

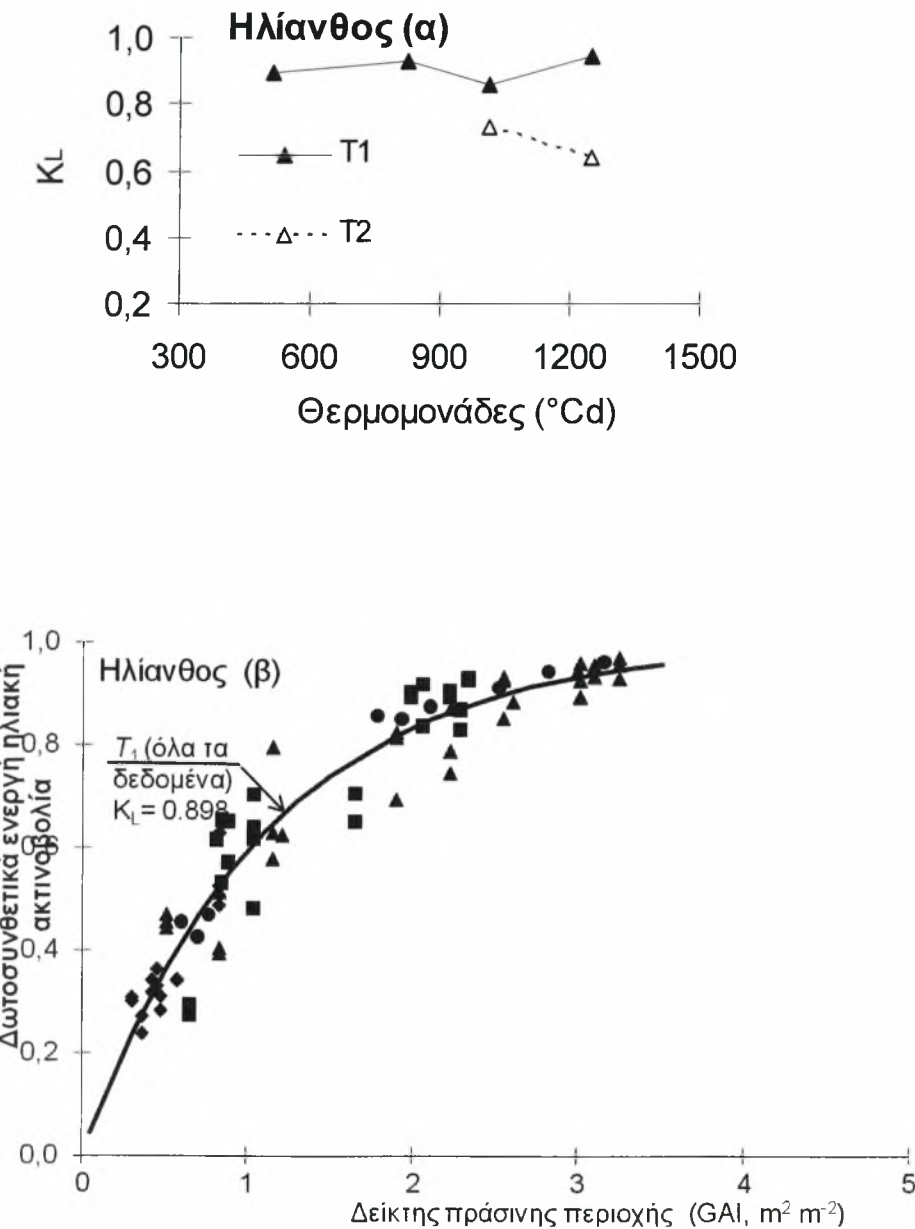
Στο διάγραμμα 5(β), για την καλλιέργεια του κενάφ και στην περίπτωση της μεταχείρισης T1 για 3 διαφορετικά ύψη της φυλλοστοιβάδας από το έδαφος 24.7, 173 και 222.6 cm, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας είναι 0, 2.2 και 2 m²m⁻², αντίστοιχα. Επομένως παρατηρήθηκε ότι σε ύψος 173 cm έχουμε τη μέγιστη τιμή του LAI και στη συνέχεια με την αύξηση του ύψους του φυτού παρατηρήθηκε μείωση της τιμής του. Τα αποτελέσματα στην περίπτωση της καλλιέργειας του κενάφ για την T2 μεταχείριση ήταν παρόμοια. Για ακόμη μία φορά η μέγιστη τιμή του δείκτη φυλλικής επιφάνειας παρατηρήθηκε στο μέσο ύψος (περίπου 70 cm) και είναι ίση με 1.6 m²m⁻², και σε ύψη, άνω και κάτω από το μέσο ύψος, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας είναι μικρότερος (1.3 και 0 αντίστοιχα).

Τέλος στην καλλιέργεια της αγριαγκινάρας (διάγραμμα 5γ) τόσο για τη μεταχείριση T1 και όσο και για τη μεταχείριση T2 παρατηρήθηκε ότι καθώς αυξάνει σταδιακά το ύψος της φυλλοστοιβάδας, ο δείκτης της φυλλικής επιφάνειας μειώνεται. Στο μικρότερο και στο μεγαλύτερο ύψος της φυλλοστοιβάδας, ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας έχει την ίδια μέγιστη και την ίδια ελάχιστη τιμή και στις δύο μεταχειρίσεις, δηλαδή 3,5 και 0,4 αντίστοιχα.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε, ότι κατά την χρονική περίοδο της ανθοφορίας, τα μελετώμενα φυτά έχουν εντελώς διαφορετικές κατανομές φύλλων γύρω από το κεντρικό στέλεχος. Μεταξύ των τριών καλλιεργειών (ηλίανθου, κενάφ και αγριαγκινάρας) παρατηρούμε ότι και στον ηλίανθο και στο κενάφ, και στις δύο μεταχειρίσεις του νερού καθώς αυξάνει το ύψος της φυλλοστοιβάδας, αυξάνει και ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας. Αντίθετα στην καλλιέργεια της αγριαγκινάρας, και στις δύο περιπτώσεις, με την αύξηση του ύψους της φυλλοστοιβάδας παρατηρούμε σταδιακή μείωση του δείκτη φυλλικής επιφάνειας.

3.6 Κατανομή φωτός

3.6.1 Ηλίανθος



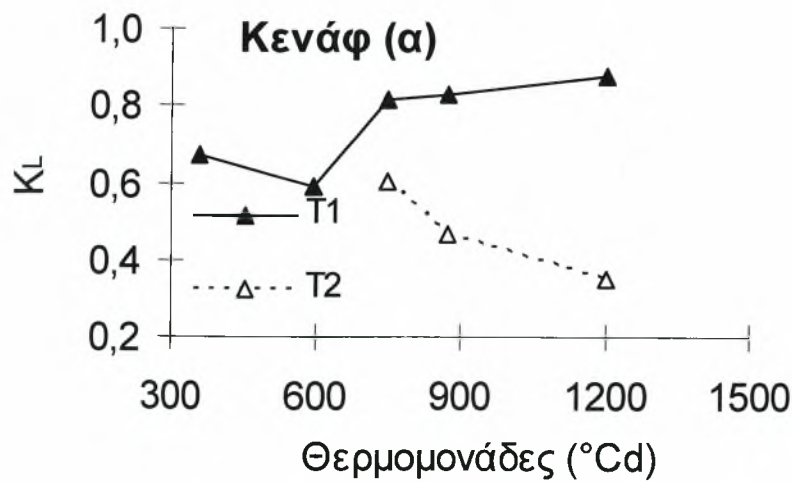
Διάγραμμα 6.

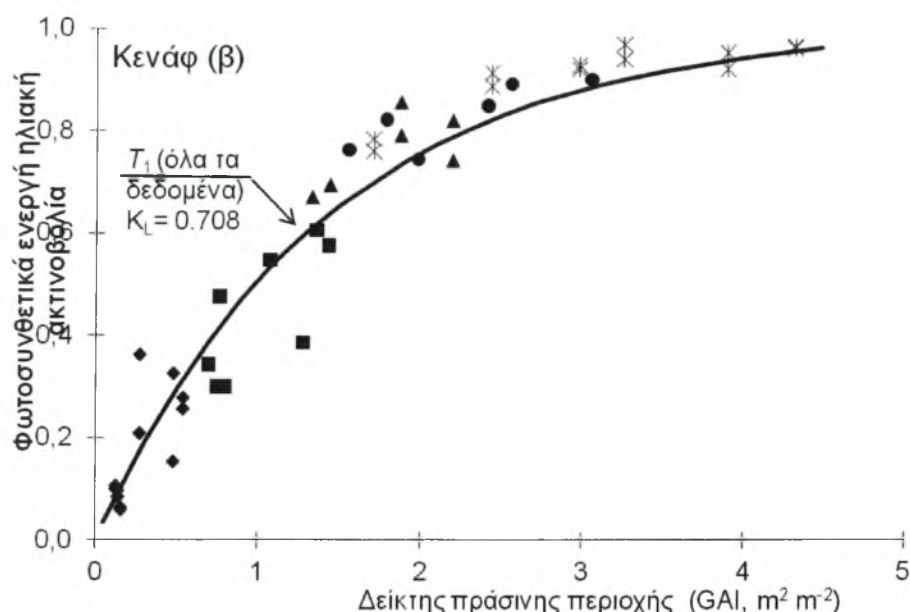
(α) Γράφημα: συντελεστές διάχυσης φωτός ανά εφαρμογή δόσης άρδευσης T1 & T2 ως συνάρτηση των θερμομονάδων. (β) Ποσοστό δέσμευσης φωτοσυνθετικά ενεργούς ηλιακής ακτινοβολίας (PAR) ως συνάρτηση του δείκτη πράσινης επιφάνειας (GAI) για τα ποτισμένα φυτά T1 του ηλίανθου.

Το διάγραμμα 6(α) δείχνει την μεταβολή του KL στο χρόνο (θερμομονάδες) καθώς και την επίδραση του νερού για κάθε ημερομηνία χωριστά. Παρατηρήθηκε ότι το ΚΛ δεν αλλάζει με το χρόνο στα ποτισμένα φυτά αλλά στα απότιστα φυτά είδαμε μια τάση να μειώνετε.

Το διάγραμμα 6(β) παρουσιάζει όλα τα δεδομένα του ποτισμένου ηλίανθου και δειχνει ότι το KL για τον ηλίανθο είναι 0,89. Στο διάγραμμα 6(β) παρατηρείται ότι για όσο μεγαλύτερες τιμές του δείκτη πράσινης επιφάνειας του φυτού (GAI), τόσο μεγαλύτερη είναι η δέσμευση της φωτοσυνθετικά ενεργούς ηλιακής ακτινοβολίας. Στην περίπτωση του ηλίανθου για την τιμή του GAI 3.5 m²m⁻² η δέσμευση της φωτοσυνθετικά ενεργούς ηλιακής ακτινοβολίας ισούται με 96%.

3.6.2 Κενάφ





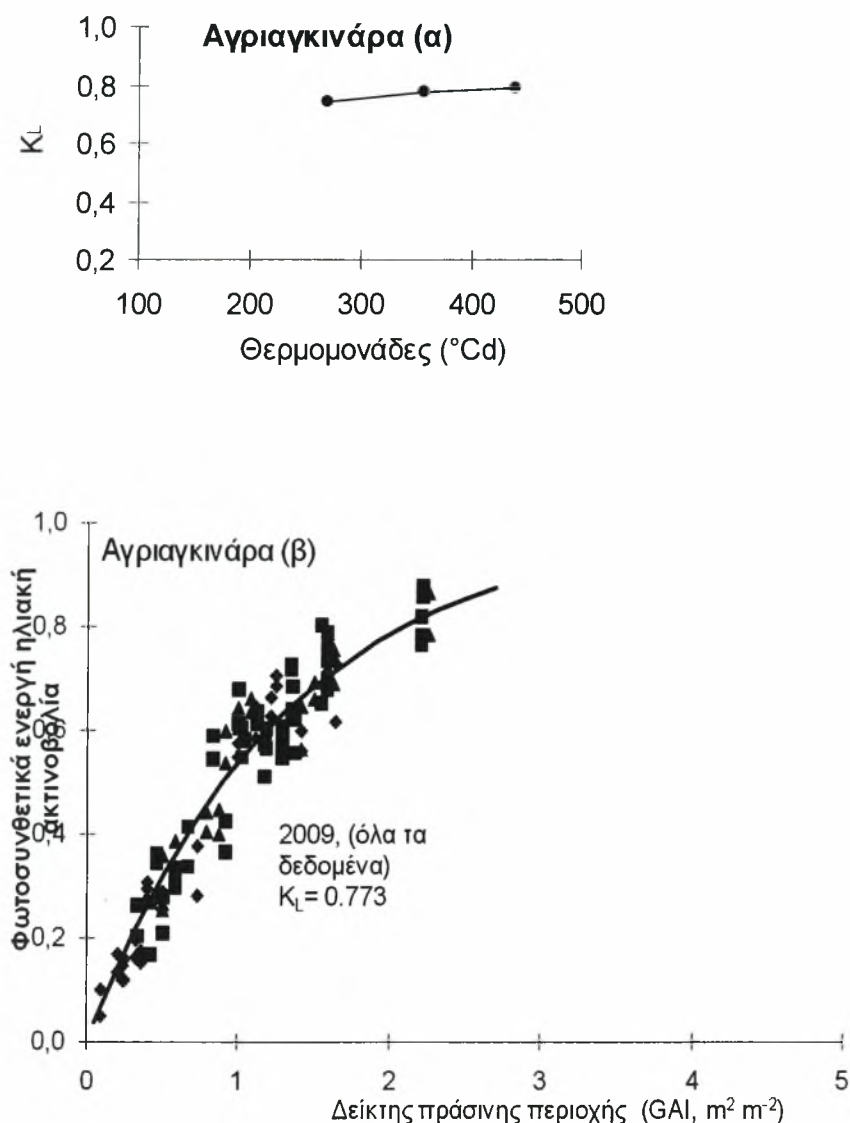
Διάγραμμα 7.

(α) Γράφημα: συντελεστές διάχυσης φωτός ανά εφαρμογή δόσης άρδευσης T1 & T2 ως συνάρτηση των θερμομονάδων. (β) Ποσοστό δέσμευσης φωτοσυνθετικά ενεργούς ηλιακής ακτινοβολίας (PAR) ως συνάρτηση του δείκτη πράσινης επιφάνειας (GAI) για τα ποτισμένα φυτά T1 κενάφ.

Το διάγραμμα 7(α) δείχνει την μεταβολή του K_L στο χρόνο (θερμομονάδες) και την μεταβολή σε σχέση με τα επίπεδα άρδευσης (T1 και T2). Παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή του K_L με το χρόνο ήταν μη στατιστικώς σημαντική ($P=0,057$) στα ποτισμένα φυτά, ενώ στα απότιστα φυτά ήταν σημαντική ($P<0,01$). Σε όλες τις περιπτώσεις τα απότιστα φυτά είχαν μικρότερο K_L σε σχέση με τα ποτισμένα.

Πιο αναλυτικά, όσον αφορά την μεταχείριση T1, κατά την αύξηση των θερμομονάδων παρατηρείται αύξηση της τιμής K_L , με ελάχιστη τιμή 0.59 στις 596 θερμομονάδες και κατόπιν αύξηση της τιμής του, με μέγιστη τιμή K_L 0,88 στις 1200 θερμομονάδες. Ενώ στην μεταχείριση T2 παρατηρήθηκε μία συνεχής πτώση τις τιμές του K_L η οποία είναι 0,6 για 751 θερμομονάδες και 0.35 για 1201 θερμομονάδες. Το διάγραμμα 7(β) παρουσιάζει τα ποτισμένα δεδομένα και δείχνει ότι το K_L για το κενάφ είναι 0,708 (ποτισμένα φυτά). Στο διάγραμμα 7(β) παρατηρείται ότι για όσο μεγαλύτερες τιμές του δείκτη πράσινης επιφάνειας του φυτού (GAI), τόσο μεγαλύτερη είναι η δέσμευση της φωτοσυνθετικά ενεργούς ηλιακής ακτινοβολίας. Στην περίπτωση του κενάφ για την τιμή του GAI 4.5 m²m⁻² η δέσμευση της φωτοσυνθετικά ενεργούς ηλιακής ακτινοβολίας ισούται με 96%.

3.6.3 Αγριαγκινάρα



Διάγραμμα 8.

(α) Γράφημα: συντελεστές διάχυσης φωτός ανά εφαρμογή δόσης άρδευσης T1 & T2 ως συνάρτηση των θερμομονάδων. (β) Ποσοστό δέσμευσης φωτοσυνθετικά ενεργούς ηλιακής ακτινοβολίας (PAR) ως συνάρτηση του δείκτη πράσινης επιφάνειας (GAI). Διαφορετικά επίπεδα άρδευσης δεν μελετήθηκαν στην περίπτωση της αγριαγκινάρας, καθώς οι μετρήσεις λήφθηκαν σε πρώιμα στάδια ανάπτυξης (ροζέτα).

Το διάγραμμα 8(α) δείχνει η μεταβολή του K_L με το χρόνο (θερμομονάδων) στην καλλιέργεια της αγριαγκινάρας. Το K_L δεν άλλαξε με το χρόνο ($P > 0,05$) και για την αγκινάρα (ροζέτα) το K_L είναι 0,773 (Σχ. 8β). Επίσης στο διάγραμμα 8(β) παρατηρείται ότι για όσο μεγαλύτερες τιμές του δείκτη πράσινης επιφάνειας του

φυτού (GAI), τόσο μεγαλύτερη είναι η δέσμευση της φωτοσυνθετικά ενεργούς ηλιακής ακτινοβολίας.. Στην περίπτωση της αγριαγκινάρας για την τιμή του GAI $2.7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ η δέσμευση της φωτοσυνθετικά ενεργούς ηλιακής ακτινοβολίας ισούται με 88%.

4. Συμπεράσματα

Τα κυριότερα συμπεράσματα αυτής της μελέτης είναι:

- Το ΚΛ για ποτισμένες καλλιέργειες ηλίανθου, κενάφ και αγριαγκινάρας είναι 0,89, 0,70 και 0,77, αντίστοιχα
- Το ΚΛ δεν αλλάζει με το χρόνο σε ποτισμένες καλλιέργειες
- Το ΚΛ δείχνει μια τάση να μειώνεται με το χρόνο σε ξηρικές καλλιέργειες
- Το ΚΛ είναι πάντα μικρότερο στα απότιστα φυτά σε σύγκριση με τα ποτισμένα φυτά στις καλοκαιρινές καλλιέργειες
- Ο ηλίανθος έχει την περισσότερη μάζα και επιφάνεια φύλλων στο μέση του κεντρικού στελέχους, τα κενάφ στο πάνω μέρος και η αγριαγκινάρα στο κάτω μέρος του στελέχους

5. Βιβλιογραφία

- Alexopoulou E., Christou M., Markidis M. and Chatziathanassiou A. ,2000. Growth and yields of kenaf varieties in central Greece 19th km Marathonos Ave., 19009, Pikermi, Attiki, Greece
- Alexopoulou, E. and Christou M. (2001), Varietal effects on kenaf stem components in central Greece. Aspects of Applied Biology 65. Biomass and Energy crops II, 39-45.
- Allen, L.H., Yocum, C.S., Lemon, E.R., 1965. Photosynthesis under field conditions. VII. Radiant energy exchanges within a corn crop canopy and implications in water use efficiency. Agron. J. 57, 575–580.
- Angelini L., Macchia, M., Ceccarini, L. and Bonari, E. (1998), Screening of kenaf genotypes for low temperature requirements during germination and evaluation of feasibility of speed production in Italy. Field Crops Research, Els., 59, 73-79.
- Archontoulis, SV, N.G. Danalatos, P.C. Struik, J. Vos, X. Yin, 2008a. Agronomy of *cynara cardunculus* growing in an aquic soil in central Greece. Proceedings of the International conference on Agricultural Engineering, Crete, Greece (p.15)
- Archontoulis S.V., Danalatos N.G., Yin X., P.C. Struik (2008). Leaf Photosynthesis and Respiration of *Cynara cardunculus*. 16th European Biomass Conference and Exhibition.
- Archontoulis S.V., Danalatos N. G., Struik P.C., 2009. Determination of *Cynara cardunculus* seed yield and harvest index. 17th European Biomass Confernce and Exhibition, Hamburg, Germany.
- Archontoulis S.V., Struik, P.C., Vos, J., Danalatos, N.G., 2010a. Phenological growth stages of *Cynara cardunculus*: codification and description according to the BBCH scale. Annals of Applied Biology 156, 253–270.
- Archontoulis S.V., Struik, P.C., Yin, X., Bastiaans, L., Vos, J., Danalatos, N.G., 2010b. Inflorescence characteristics, seed composition, and allometric relationships predicting seed yields in the biomass crop *Cynara cardunculus*. Global Change Biology–Bioenergy 2, 113–129.

- Ayerza R. and Coates, W. (1996), Kenaf performance in northwestern Argentina. *Industrial Crops and Products* 5, 223-228
- Beloncchni A., Quaranta,F., Desiderio,E. (1998), Yields and adaptability of kenaf varieties for paper pulping in central Italy. *Sustainable Agriculture for food, energy and industry*. James and James (Sc. Publ.)Ltd., 1039-1049.
- Carberry P.S., Abrecht, D.G., 1990. Germination and elongation of the hypocotyls and radicle of kenaf (*Hibiscus cannabinus*) in response to temperature. *Field Crops Research* 24, 227–240.
- Ching A., Webber III and Neill, S. (1993), Effect of location and cultivar on kenaf yield components. *Ind. Crops Prod*, 1, 191-196.
- Danalatos N.G., Gitsioudis I, Archontoulis SV, 2008. Evaluation and Application of the Biokenaf Model for Kenaf Production in south Europe. *Proceeding of International Conference of Agricultural Engineering, Creta, Greece*, 10 p.
- Danalatos N.G., and S.V. Archontoulis, L.Geronikolou, G. Papadakis, 2004. Potential growth and productivity of three sunflower hybrids in a soil with aquatic moisture regime in Central Greece. *Proceeding of the 2nd World Biomass Conference, Roma, Italy*.
- Danalatos N.G., S.V. Archontoulis.2004. Potential growth and biomass productivity of kenaf under central Greek conditions: I. the influence of fertilization and irrigation. In: Van Swaalj, W.P.M., Fjalistrom , T., Helm, P., Grassi, A. (Ed.), *Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Proceedings of the 2nd World Biomass Conference, Roma, Italy*
- Danalatos N.G., Archontoulis S.V., Geronikolou L., Papadakis G, 2005. Biomass Conference and Exhibition : Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. *Proceedings of the 14th European Biomass Conference*, 17-21 October Paris, pp. 308-311.
- Danalatos N.G., Archontoulis, S.V., 2010. Growth and biomass productivity of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) under different agricultural inputs and management practices in central Greece. *Industrial Crops and Products* 32, 231–240.
- Danalatos N.G., II. Gitsioudis, E. Skoufogianni, K. Giannoulis, M. Chatzidimopoulos, G. Gournizakis , E. Alexopolou and S. Archontoulis, 2006. Three Years Kenaf Cultivation In Central Greece : Assessment And Future Perspectives. *International Conference, on Information Systems*,

Sustainable Agriculture, Agro-Environment and Food technology, Volos Greece.

- Danalatos N.G., Skoufogianni E., Giannoulis K.G., Archontoulis S.V., 2007. Responses Of *Cynara Cardunculus* To Irrigation And N-Fertilization In Central Greece. 15th European Biomass Conference and Exhibition, Berlin, Germany.
- Flenet, F., Kiniry, J.R., Board, J.E., Westgate, M.E., Reicosky, D.C., 1996. Row spacing effects on light extinction coefficients of corn, sorghum, soybean and sunflower. *Agron. J.* 88, 185–190.
- Fuller M., Diamond, J., Applewhite, T. (1967), High oleic sunflower oil. Stability and chemical modification. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 44, 264-267.
- Fuller M., Diamond, J., Applewhite, T. (1967), High oleic sunflower oil. Stability and chemical modification. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 44, 264-267.
- Gallo, K.P., Daughtry, C.S.T., 1986. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. *Agron. J.* 78, 752–756.
- Geronikolaou L, Archontoulis S.V., Danalatos NG, Papadakis G, Kyritsis S, 2005. Economic Opportunity for Seed Oil production in S. Europe by New Sunflower Varieties and under New C.A.P. Conditions. 14th European Biomass Conference and Exhibition : Biomass for Energy, Industry and Climate Protection. Proceedings of the 14th European Biomass Conference, 17-21 October Paris, pp. 1917-1920.
- Giannoulis K., Archontoulis S., Bastiaan L., Struik P., Danalatos N. ,2009. Performance of cropping systems including Sunflower as Mono-Crop vs in intensive Rotation with winter wheat in western Thessaly Plain(Greece). 17th European Biomass Conference and Exhibition.
- Kilman M.L. and Earle, F.R. (1964), Agronomic performance and chemical composition of the seed of sunflower hybrids and introduced varieties. *Crop Sci.* 4, 417-420.
- Lagravere, T., Kleiber, D., Dayde, J. (1998), Performance agronomique et conduits culturales du tournesol oléique. Réalités et perspectives. *Oléagineux Crops Gras Lipides* 5 (6), 477-485.

- Lancashire P.D., Bleiholder, H., Langelüddecke, P., Stauss, R., van den Boom, T., Weber, E., Witzsen-Bergera, A., 1991. A uniform decimal code for growth stages of crops and weeds. *Annals of Applied Biology* 119, 561–601.
- Monsi M Saeki T, 2005. On the factor light in plant communities and its importance for matter production. *Annals of Botany* 95, 549–567.
- Murphy, D.J. (1994), *Designer Oil Crops, Breeding, Processing and Biotechnology*. VCH., Weinheim, Germany.
- O'Connell M., O'Leary, G.J., Whitfield, D.M., Connor, D.J., 2004. Interception of photosynthetically active radiation and radiation-use efficiency of wheat, field pea and mustard in a semi-arid environment. *Field Crops Research* 85, 111–124.
- Pepper, G.E., Pearce, R.B., Mock, J.J., 1977. Leaf orientation and yield of maize. *Crop Sci.* 17 (6), 883–886.
- Pertini C., Bazzocchi, R., Montalti, P. (1994), Yield potential and adaptation of kenaf in north-central Italy. *Ind. Crops Products* 3, 11–15.
- Ritchie J.T. and D.S. NeSmith, 1991. Temperature and Crop Development. In : *Modeling Plant and Soil Systems*, Hanks and Ritchie (Eds.). Agron. Monogr., CSSSA, SSSA, Madison, WI.
- Sivakumar, M.V.K., Virmani, S.M., 1984. Crop productivity in relation to interception of photosynthetically active radiation. *Agricultural and Forest Meteorology* 31, 131–141.
- Van Ittersum, M.K., Leffelaar, P.A., van Keulen, H., Kropff, M.J., Bastiaans, L., Goudriaan, J., 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy* 18, 201–234.
- Varlet-Grancher, C., Gosse, G., Chartier, M., Sinoquet, H., Bonhomme, R., Allirand, J.M., 1989. Mise au point: rayonnement solaire absorbe ou intercepte par un couvert vegetal. *Agronomie* 9, 419–439.
- Villalobos, F.J., Hall, A.J., Ritchie, J.T., Orgaz, F., 1996. OILCROP-SUN: A development, growth, and yield model of the sunflower crop. *Agronomy Journal* 88, 403–415.
- Virdis A., Motzo, R., Giunta, F., 2009. Key phenological events in globe artichoke (*Cynara cardunculus* var. *scolymus*) development. *Annals of Applied Biology* 155, 419–429.

- Webber C.L. III (1993b), Yields components of five kenaf cultivars. *Agron. Journal* 85(3):533-535.
- Webber C.L. III (1997), Yields differences for kenaf cultivars. *Proc. Int. Kenaf Assn. Conf.* 9:85-88.
- Webber C.L., III and Bledsoe, V.K. (2002), Kenaf yields components and plant composition, J. Janick and A. Whipkey (eds.), *Trends in new crops and new uses*. ASHS Press, Alexandria, VA, 2002, 348-357.
- Whigham, D.K., 1971. Leaf orientation and its effect on *Zea mays* L. PhD dissertation. Iowa State University, Ames, Iowa.
- Williams, W.A., Loomis, R.S., Lepley, C.R., 1965. Vegetative growth of corn as affected by population density. I. Productivity in relation to interception of solar radiation. *Crop Sci.* 5, 211–215.
- Κοσμίδου, Κ., Πατσιαλής, Κ. και Κρομμύδας, Α. (1990), Πειραματική Καλλιέργεια Κενάφ στην Ελλάδα. Μη δημοσιευμένα αποτελέσματα.
- Πουλεάς Ηλίας, 2001. Πτυχιακή διατριβή : Αύξηση και ανάπτυξη της αγριοαγκινάρας (*Cynara cardunculus*) κάτω από διαφορετικές συνθήκες πυκνότητας και αζωτούχου λίπανσης στη Θεσσαλία.
- Σούτερ Χ., 1998. Βιομάζα-Βιοκαύσιμα. Μία νέα δυναμική διάσταση καθοριστικής σημασίας για το Ενεργειακό και Γεωργικό Μέλλον της Χώρας, στα Πρακτικά συζήτησης στρογγυλής τράπεζας και ημερίδας, ΕΘΙΑΓΕ, Αθήνα: 21

6. Παράρτημα









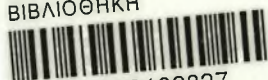


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**

Τηλ.: 24210-~~7269~~ 61 93141



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000106327